

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Institut dopravy

Výukový program zaměřený na problematiku „Integrované
modulární avioniky“ dle ATA 42

Tutorial focuses on the issue of „Integrated modular avionics“
according to ATA 42

Student:

Ivo Vaňák

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Rostislav Horecký, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student:

Ivo Vaňák

Studijní program:

B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor:

3708R038 Technologie údržby letecké techniky

Téma:

Výukový program zaměřený na problematiku „Integrované modulové avioniky“ dle ATA 42
Tutorial Focuses on the Issue of "Integrated Modular Avionics"
According to ATA 42

Zásady pro vypracování:

1. Vytvořte zjednodušený popis všech systémů, které spadají do (IMA - Integrované modulové avioniky), uvedené v kapitole 19, modulu M 11 A s označením (ATA 42).
2. Vytvořte názorné schéma s vyznačením jednotlivých prvků avioniky popsaných v bodě 1, které jsou spojeny s palubním počítačem pomocí linek se signály a vytváří funkční strukturu IMA.
3. Uvedenou problematiku zpracujte do textové části.
4. Z každého popsaného prvku uvedeného v bodě 1, vypracujte alespoň tři testové otázky se třemi odpověďmi.
5. Textovou část k uvedenému zadání BP upravte do podoby výukové prezentace v programu powerpoint (jeden snímek pro jeden subsystém).

Seznam doporučené odborné literatury:

EHJ, Pallet.: Aircraft Electrical Systems. Edinburg Gate Harlow, Essex. England. ISBN 978-0-582-98819-4.
Thomas, K, Eismin.: Aircraft Elektricity and Elektronik. Glencoe, Fifth Edition. Print 2002. McGraw- Hill. ISBN-13: 978-0-02-801859-1
Aircraft Maintenance Manual pro Boeing 737 NG, Boeing 737 CL, Airbus A320, SAAB 340
Nařízení komise ES 2042/2003.: Příloha III, Část 66, verze modul 7, platná (od 1.8.2012). EASA
Kocáb, Adamec.: Letecké motory

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Rostislav Horecký, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Poděkování:

Rád bych poděkoval panu Ing. Rostislav Horeckému, Ph.D. za množství rad a inspirace, které mi věnoval nejen po dobu vypracování mé bakalářské práce.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Ivo Vaňák

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Ostrava – Výškovice; Na Výspě 12; 700 30

Anotace bakalářské práce

Vaňák I. Výukový program zaměřený na problematiku Integrované modulové avioniky dle ATA 42, Ostrava – Institut dopravy, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014, vedoucí bakalářské práce: Ing. Rostislav Horeckému, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá vývojem avioniky, dále pak kooperací mezi jednotlivými avionickými systémy. Popisuje důvody, vývoj a následky pro strukturální změnu zapojení avionických systémů z takzvané federované do modulové avioniky. Rozebírá jednotlivé systémy, kterých se změna týká a v neposlední řadě porovnává výhody a nevýhody těchto dvou struktur zapojení.

Klíčová slova

Integrovaná modulová avionika, federovaná avionika, ATA 42, výukový materiál, letectví, avionika, avionické systémy, AFDX, ARINC.

Anotation of bachelor's thesis

Vaňák I. Tutorial focuses on the issue of „Integrated modular avionics“ according to ATA 42, Ostrava - Institute of transport, Faculty of mechanical engineering, VSB – Technical university of Ostrava, 2014, thesis head: Ing. Rostislav Horecký, Ph.D.

This bachelor thesis covers the developement of the avionics systems and the types of cooperaion between avionics systems. Also describes the reasones, developement and consequences of changes of the avionic architecture from „distributed“ and „federated“ to modular architecture. In the last part it describes the avionics systems and advantages with disadvantages of this new architecture

Key words

Integrated modular avionics, federated avionics, ATA 42, learning material, aviation, avionics, avionics systems, AFDX, ARINC.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	10
1 ÚVOD	13
1.1 Cíle práce	14
2 ATA	15
2.1 Norma ATA	15
3 VÝVOJ AVIONIKY	17
3.1 Klasická architektura zapojení avionických systémů	19
4 DIGITÁLNÍ KOMUNIKACE.....	22
4.1 Datové spoje	22
4.1.1 Multiplexor	23
4.1.2 Přenos dat.....	24
4.2 Počítačové sítě	25
4.2.1 Rozdělení sítí podle velikosti.....	25
4.2.2 Hierarchie uspořádání počítačů v síti.....	26
4.2.3 Topologie sítí	26
4.2.4 Propojení zařízení a přenosová cesta	28
4.2.5 Typy komunikace vysílačů a přijímačů	29
4.2.6 Ethernet	29
4.3 Sběrnice	30

4.3.1 Společnost ARINC	32
4.3.2 ARINC 429	32
4.3.3 MIL-STD-1553	33
4.3.4 ARINC 629	34
4.3.5 ARINC 664/AFDX	35
5 INTEGROVANÁ MODULOVÁ AVIONIKA	39
5.1 Platforma – výkonný prvek IMA.....	40
5.2 Avionický a okolní svět	42
5.3 Formování LRM	43
5.3.1 Hardwarové uspořádání	44
5.4 CPIOM – Core processing input/output module	45
5.5 IOM – Input/output module.....	46
5.6 Struktura ADCN	47
5.7 Systémy integrované v IMA	48
6 ZÁVĚR	51
7 OTÁZKY	52
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

A4A	Airlines for America	<i>název společnosti</i>
A/C	Aircraft	Letadlo
ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System	Komunikační, adresný a hlásný systém
ADCN	Avionic Data Communication Network	Avionická datová komunikační síť
ADIRU	Air data inertial reference unit	Jednotka pro srovnávání vzdušných dat
AFDX	Aviation Full Duxplex Switched Ethernet	Avionický full-duplex ethernet
API	Application program interface	Programové rozhraní
APU	Auxiliary power unit	Pomocná energetická jednotka
ASCB	Aviation Standard Communications Bus	Letadlová sběrnice
ATA	Air Transport Association of America	<i>název společnosti</i>
ATC	Air Traffic Control	Řízení letového provozu
ARINC	Aeronautical Radio Incorporated	Vydavatel standardů pro avioniku
BAG	Bandwidth Allocation Gap	Specifická časová mezera
BITE	Build-in-test equipment	Zařízení se samokontrolou
CAA	Civil Aviation Authority	Úřad pro civilní letectví
CMS	Central Maitenance System	Centrální systém údržby
CPM	Core processing module	Výpočetní modul

CPIOM	Core proccesing input/output module	Výkonný vstupně/vstupní modul
DCDU	Data Communication Display Unit	Zobrazovací jednotka datové komunikace
ECAM	Electronic Centralized Aircraft Monitoring	Centrální elektronický systém monitorování letadla
FAA	Federal Aviation Administration	Federální letecký úřad
FADEC	Full Authority Digital Engine Control	Digitální plně automatický systém ovládání motorů
FBW	Fly by wire	Řízení po drátě
FDX	Full duplex	Obousměrný současný provoz
FDM	Frequency Multiplex	Frekvenční multiplex
FMS	Flight Management Systém	Systém vedení letadla
GWM	Gate way module	Výstupní modul
HDX	Half duplex	Obousměrný střídavý provoz
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
IMA	Integated Modular Avionics	Integrovaná modulová avionika
IOM	Input/Output Module	Vstupně/výstupní modul
LRU	Line Replaceable Unit	Řadová výměnná jednotka
LRM	Line Replaceable Module	Řadový výměnný modul
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku

Open IMA	Open Integrated Modular Avionics	Otevřená integrovaná modulová avionika
PSM	Power Supply Module	Napájecí modul
TDM	Time Division Multiplex	Časový multiplex

1 ÚVOD

V druhé půli 20. století kdy se letecký průmysl dostává do popředí jako jeden z možných typů přepravy osob, dochází k jeho masovému rozvoji. Do popředí se dostávají nové typy pohonných jednotek, avionických systémů, materiálů pro výrobu draku, v neposlední řadě také dochází k postupnému přebírání kontroly umělé inteligence nad řízením stroje, a člověk, v tomto případě pilot, se stává po většinu letu pouze jeho odborným dozorem. Tento dozor je však stále naprosto nezbytný, jelikož při možných nedefinovaných situacích stále potřebujeme lidské myšlení a rozhodnost jako záložní prvek pro řízení a kontrolu nad strojem.

K tomu, abychom mohli létat v podmínkách, kde lidské smysly již nestačí pro úplnou kontrolu letadla, nebo k tomu, abychom mohli přenechat řízení automatickému systému (autopilot), potřebujeme množství informací o stavu a poloze letadla, ale také indikace parametrů jednotlivých částí letadla. Všechny tyto informace jsou získávány z různých typů snímačů, dále zpracovávány elektronickými systémy a zobrazovány pilotovi v kokpitu. Tyto elektronické systémy nazýváme také jako systémy avionické.

Při dnešním trendu neustálého zdokonalování za účelem zefektivnění práce, snížení nákladů a zvýšení spolehlivosti se drasticky zvyšují nároky, a to nejen na, avionické systémy. S rostoucími nároky na množství zpracovávaných a přenášených informací za jednotku času nám vyvstává potřeba k reorganizaci struktury avionických systémů.

1.1 Cíle práce

Má práce se bude primárně zabývat těmito body, a má za úkol:

- Přiblížit čtenáři specifikaci ATA a její vývoj,
- Popsat funkci a vývoj avioniky a typy architektur zapojení avionických systémů,
- Objasnit problematiku Integrované modulové avioniky,
- Popsat systémy, které jsou zakomponované do oblasti IMA,
- Vytvořit prezentaci pro vedení výuky předmětu a zkoušení.

2 ATA

ATA je zkratkou pro organizaci *Air Transport Association of America*, která byla založena v Chicagu roku 1936 skupinou tehdejších největších 14 leteckých společností. Organizace hrála důležitou roli ve všech hlavních vládních rozhodnutích týkajících se letectví. Počínaje vznikem úřadu pro civilní letectví FAA, systému řízení letového provozu a mnoha dalších. [7]

Později se organizace přejmenovala na A4A tedy *Airlines for America*. V současné době má sdružení 12 členů a její aerolinie přepraví kolem 90% veškerého nákladu a pasažérů ve spojených státech. Hlavní cíle jsou zvýhodnění a podpora aerolinií ve smyslu snížení daní a maximalizace zisku, dále pak zajištění bezpečnosti letecké dopravy, v neposlední řadě pak snížení emisí a modernizace řízení letového provozu. [9]



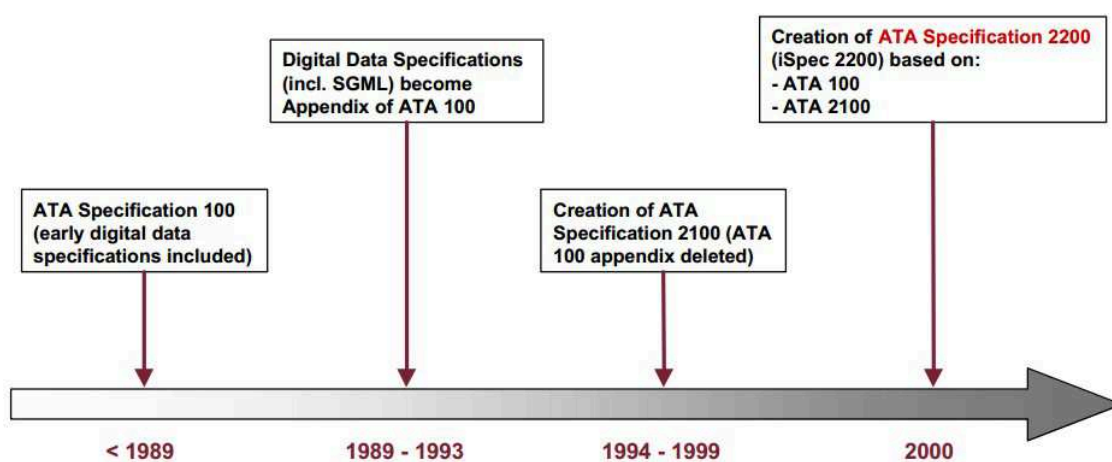
Obr. 2.1: Logo ATA později A4A [11]

2.1 Norma ATA

První vydaná norma nesla název ATA 100. Tato norma používá číselný kód pro všechny systémy a podsystémy letadla a byla běžně používána jako standard pro celý letecký průmysl. Sloužila také jako ucelený a jednotný podklad pro orientaci v dokumentaci jak pro piloty, tak pro pracovníky údržby a konstruktéry. Byla vydána

v roce 1956, postupně upravována, aktualizována a v posledním desetiletí 20. století byla přejmenována na *ATA Specification 2100*. [9]

Neustále zvětšující se nároky na letecký průmysl vedou, a podle mého názoru se jedná o nikdy nekončící proces, i nyní k neustále potřebě rozšiřování již zavedených standardů. Případně je potřeba čas od času provést restrukturalizaci celého systému (viz obr. 2.2). Počínaje rokem 2000 byl tedy vytvořen zcela nový standard založený na předešlých *ATA 100* a *ATA Specification 2100*. Nese název *ATA iSpec 2200* a je platný až do současnosti. [9]



Obr. 2.2: Vývoj normy ATA [9]

Ačkoliv byl ATA 100 systém již nahrazen novým, stále se až do roku 2013 široce využíval v dokumentaci starších letadel nebo v tištěných příručkách. [7]

Část pojednávající o problematice Integrovaná modulová avionika, je zařazena do bloku *drakové systémy* pod číslem 42. ATA 42 se však skládá, respektive vychází z částí ATA 21 (klimatizace), ATA 28 (palivové systémy), ATA 32 (podvozek), ATA 36 (pneumatické systémy) a ATA 79 (pohonná jednotka).

3 VÝVOJ AVIONIKY

Slovo avionika nachází původ ve francouzském *avionique* – *letadlo, éqiper* – *vybavení*, popřípadě se na něj můžeme dívat jako na složeninu ze slov *aviation electronic equipment* – *elektronické vybavení na letadle*. Avionika může být tedy definována jako věda a technologie o elektronických přístrojích aplikovaných na letadle, nebo také jako elektronické obvody a přístroje použité na letadle. Názorů na správnou definici avioniky je sice více, většinou se však liší pouze v detailech. Pro naše účely budou tyto dvě základní verze více než dostačující. [4]

Již v počátcích letectví, tedy na začátku 20. stol. si první letečtí konstruktéři začali uvědomovat potřebu zajištění přesnějších dat pro řízení letadla, než takových, které jim poskytovali lidské smysly. První jednoduché vybavení se začalo objevovat na letadlech v průběhu 1. světové války, kde šlo o přístroje jako: bublinková vodováha pro určení horizontálního přímého letu, výškoměr, jednoduchý magnetický kompas nebo třeba ukazatel tlaku oleje motoru. Složitější přístroje pro sledování barometrických tlaků, rychlostí a směru proudění vzduchu měly pouze vzducholodě. Můžeme říct, že první jednoduché „avionické“ přístroje a systémy (převážně pracující na gyroskopickém principu) se začaly objevovat na světě již v období mezi první a druhou světovou válkou. Záměrně dávám slovo „avionické“ do uvozovek, jelikož se tento výraz vžil do širšího podvědomí až po roce 1970.

Další mezník ve vývoji avioniky přišel po druhé světové válce zavedením elektronických přístrojů do výzbroje letadel. Šlo o první radary, radarové dálkoměry, radiokompasy a zaměřovače. Celá elektronika byla konstruována na elektronkových prvcích. Poté přišel pokrok ve vynálezu polovodičových prvků. Rozšiřovalo se přístrojové a indikační spektrum a rozsah elektroniky na palubě letadel. V roce 1970 byla spotřeba polovodičových prvků v leteckém průmyslu téměř 90% jejich celkové produkce.

Úplně nový rozměr přišel v 80. letech 20. století, kdy se naplno rozjíždí fenomén multitaskingových procesorů. Vznikají skupiny zařízení a přístrojů integrovaných do rozsáhlých systémů, které zabezpečovaly víc a víc funkcí. Jedním z prvních letadel,

jehož let plně závisel na výpočtových funkcích, bylo letadlo F-16. V tomto letadle byla poprvé sériově nainstalována technologie elektroimpulzního řízení letadla *Fly by Wire*.

V současné době má rozpočet na vývoj palubní elektroniky největší podíl na ceně letadla, ve vojenském průmyslu to platí ještě ve větší míře, kdy podíl za elektronické vybavení dosahuje až 90%. [1]

Z hlediska vývoje, můžeme přístroje rozdělit do několika generačních období

Přístroje nulté generace – na letadlech se objevovaly zhruba do roku 1940. Tato generace se vyznačovala malým počtem samostatných přístrojů, převážně mechanického charakteru, prakticky bez existence přístrojových systémů.

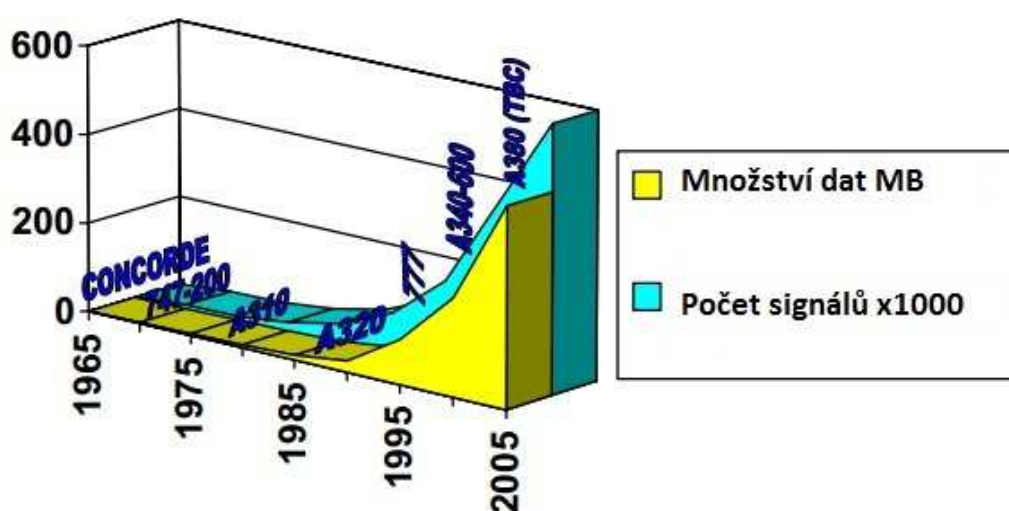
Přístroje první generace – provozované v období mezi léty 1940 a 1960. Objevují se první přístrojové systémy tedy soubory vzájemně propojených prvků určených ke společnému řešení určitého úkolu při řízení letadla. Systémy pracují zatím převážně na analogovém elektrickém principu. Prudce narostl počet měřených a zobrazovaných veličin. Přístroje však v té době nebyly z konstrukčního ani řídicího hlediska adekvátní, což zvyšovalo nároky na jejich množství a tedy provoz a údržbu.

Přístroje druhé generace – používané mezi léty 1960 a 1975. Projevuje se zvýšená potřeba měření množství nových veličin u letadel s reaktivním pohonem – navyšuje se počet přístrojů. Rovněž je potřeba, aby byly zobrazované informace co nejpřesnější, a systémy co nejspolehlivější. Charakteristické je využití elektroniky a polovodičů v analogových obvodech palubních přístrojů a systémů, teprve v sedmdesátých letech se objevují na palubách také první číslicové počítače. Tato generace je také typická rozvojem diagnostických palubních přístrojů, a do většiny letadel jsou instalovány palubní zapisovače.

Třetí generace přístrojů – zahrnuje přibližně období po roce 1975. Tato doba je charakteristická především přechodem na číslicovou techniku, umožňující využití mikroprocesorů a počítačů. Velmi velký důraz se klade na normalizaci, která dovoluje sestavit systém z komponent různých výrobců. Velká změna nastává také v principu zobrazování informací pilotovi. Dříve analogové elektromechanické ukazatele druhé generace jsou nahrazeny obrazovkovými displeji. Celkový trend směřuje k podstatnému

snížení parametrů trvale zobrazovaných na palubní desce. Kontrolu hodnot jednotlivých veličin zajišťují měřicí systémy, které pak varují pilota při překročení dovolených mezí. [2]

Můžeme hovořit o exponenciálním nárůstu dat (viz obr. 3.1) Množství těchto snímaných a zobrazovaných dat definuje tzv. Mooerův zákon – *každých 18 měsíců se zdvojnásobí výkon elektronických obvodů*, který se ovšem netýká nárůstu kapacity paměti a výkonu procesních jednotek. Proto se klasická architektura zapojení avionických systémů začala jevit jako poměrně značně komplikovaná a zastaralá. [4]



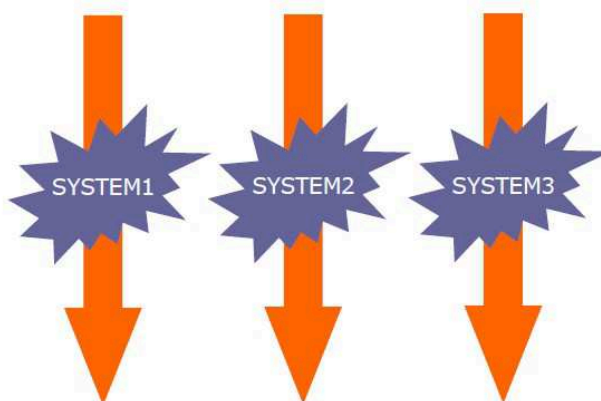
Obr. 3.1: Graf objemu zpracovávaných dat v období 1965-2005 [4]

3.1 Klasická architektura zapojení avionických systémů

Tradičně byla avionika realizována odděleně jako takzvaná federovaná, (viz obr. 3.2) tedy *jedna funkce = jeden počítač* = „black box / černá skříňka“ = LRU (řadová výměnná jednotka). Jinými slovy data nejsou sdílena, a proto každá funkce potřebuje své sensory, výkonnou jednotku a soustavu výkonných mechanismů. Rozhraní je tvořeno většinou standardem známým jako ARINC 429. [3]

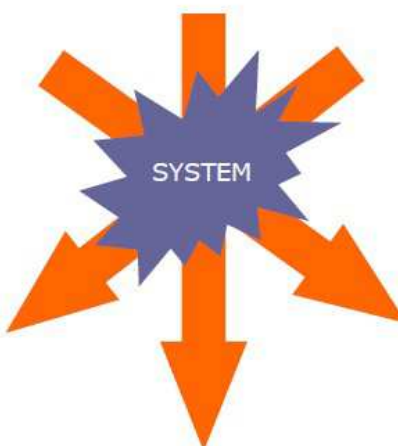
Jako následek specializace jednotlivých systémů, bylo třeba každý systém vyvíjet odlišně od základu a navíc s malým potenciálem zpětné využitelnosti dané

technologie. Hlavně hardwarové komponenty pak trpěly zastaráváním. Dalším problémem byla narůstající hmotnost kabeláže potřebné pro propojení systémů a tudíž k zajištění komunikace a sdílení dat. Na přelomu devadesátých let se již tento systém stal velmi komplikovaným, když neustálý nárůst množství a váhy systémů překročil pomyslně udržitelnou hranici. Bylo tedy potřeba přijít na to, jakým způsobem sloučit některé části systémů dohromady, bez jejich zbytečného replikování do každého LRU. Zvlášť bylo nutné jejich další fyzické propojení, které mělo zjednodušit a zlevnit údržbu a v neposlední řadě pak snížit spotřebu elektrické energie. [3]



Obr. 3.2: Federovaná struktura zapojení avionických systémů [3]

Ve snaze výrazně snížit množství, váhu a výdaje přišel letecký průmysl s myšlenkou integrace více funkcí do jednoho výpočetního zařízení (viz obr. 3.3). Tento krok opravdu přinesl požadované snížení hmotnosti a redukci množství dílčích systémů,



Obr. 3.3: Integrace více funkcí do jedné výpočetní jednotky [3]

což se ovšem netýkalo výdajů. Vysoká úroveň integrace totiž vyžaduje značné úpravy operačního systému, které však nebyly dostatečně provedeny, a tudíž se výrazně snížila spolehlivost a navíc se případné modifikace a údržba staly velmi nákladnými. [4]

Poptávka po rychlé, spolehlivé a uspokojující architektuře zapojení avionických zařízení nakonec vedla k vývoji takzvané Integrované modulové avioniky, o které se podrobněji rozepíšu v kapitole 5.

4 DIGITÁLNÍ KOMUNIKACE

Nárůst číslicových systémů na palubách letadel, který nastal koncem šedesátých let, s sebou přinesl nutnost zajistit jejich vzájemnou komunikaci. Na počátku sedmdesátých let existovala řada návrhů, jak tuto komunikaci realizovat. Protože systémy byly spolehlivější a efektivnější, jejich použití se zvětšovalo. Nárůst vedl ke standardizaci zejména v kategorii dopravních letadel, která umožnila komunikaci mezi tzv. řadovými výměnnými jednotkami (LRU). Tím se staly tyto jednotky mnohem komplexnějšími. Standardizace digitální komunikace pak umožnila zavedení komplexních palubních elektronických systémů a automatických systémů řízení letadel. [18]

Základním faktorem pro smysluplnou komunikaci je přesný přenos informace, případně zpětná vazba jako potvrzení příjmu, nebo reakce na přijatou informaci. Podstatou procesu je více méně stále transfer informace z bodu A do bodu B, co se však zásadně mění, je rychlost přenosu a přenosové médium. Od prvotních pokusů přenosu, se dostáváme k elektrickým a později elektronickým obvodům, kde jsou informace přenášeny za pomoci soustavy nul a jedniček.

4.1 Datové spoje

Základní jednotkou datové komunikace je spoj, který umožňuje výměnu informací mezi informačním zdrojem a informačním spotřebičem (viz obr. 4.1). Spoje mohou být dvoubodové (pro komunikaci mezi dvěma účastníky) a vícebodové (komunikace pro více uživatelů). Dvoubodový spoj se skládá ze dvou stanic propojených přenosovou cestou. Cesta pro jednosměrný přenos informací se nazývá kanál, cesta pro obousměrný přenos informací se nazývá okruh. [19]

Jednosměrný provoz (vybavený kanálem) nazýváme také jako *simplex*. Data tedy proudí od vysílače k přijímači.

Obousměrný provoz (vybavený okruhem) může být:

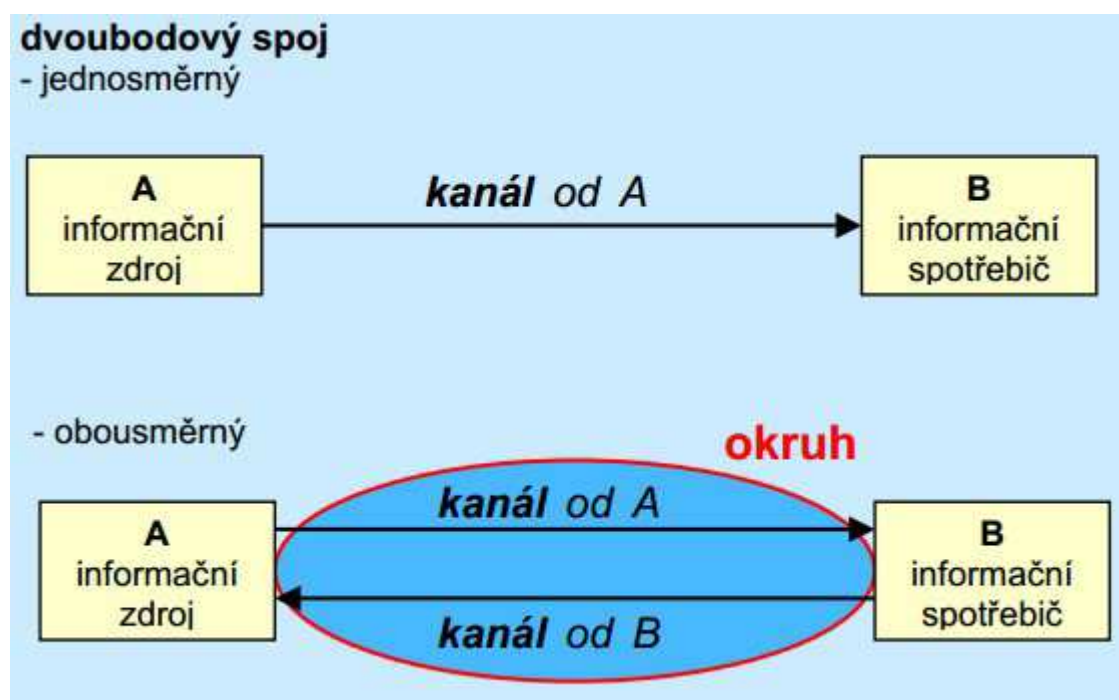
Duplexní (full duplex, FDX) – obousměrný současný provoz (informace mohou být současně přenášeny oběma směry). [19]

Poloduplexní (half duplex, HDX) – obousměrný střídavý provoz (informace mohou být přenášeny oběma směry, v jednom okamžiku však pouze jedním směrem). [19]

Podle typu propojení zařízení mezi stanicemi rozlišujeme:

Pevné datové okruhy - mezi stanicemi je přímé spojení, není mezi nimi použito žádné přepínací zařízení. [19]

Komutované (přepínané) datové okruhy – mezi mnoha stanicemi je vytvořeno spojení umožňující jejich různá propojení, konkrétní spojení dvou (nebo více) stanic je realizováno za účasti přepínacího zařízení. [19]



Obr. 4.1: Rozdíl mezi jednosměrným a obousměrným zapojením [19]

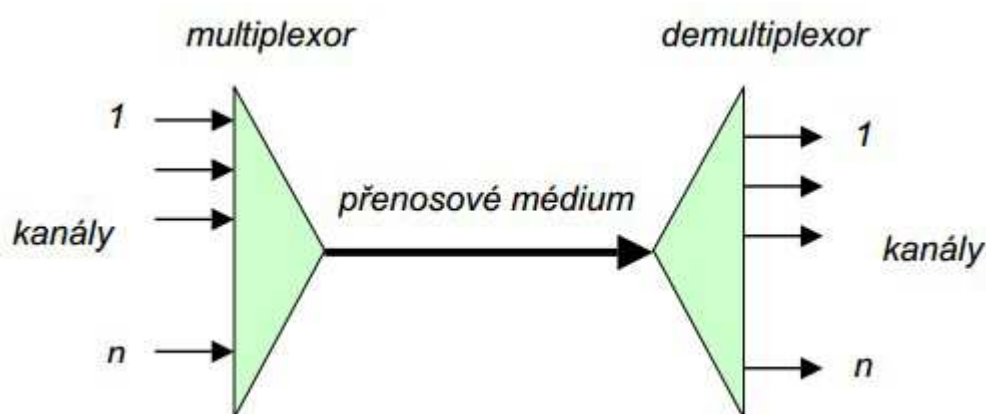
4.1.1 Multiplexor

Abychom co nejlépe využili přenosové kapacity média, přenášíme často jedním médiem současně (nebo alespoň zdánlivě) více datových toků (kanálů). Tato zařízení nazýváme *multiplexory* (viz obr. 4.2). Ke zpětnému oddělení kanálů na opačné straně přenosové cesty používáme *demultiplexory*. [19]

Multiplexory pracují na dvou základních principech:

Kmitočtové dělení (frekvenční multiplex, Frequency Division Multiplex – FDM). Kmitočtové pásmo se rozdělí na pod pásma, kde každému kanálu je přiděleno jedno kmitočtové pod pásmo. [19]

Časové dělení (časový multiplex, Time Division Multiplex – TDM). Přenosový čas je rozdělen na časové rámce a úseky, každému kanálu je pak přidělován jeden úsek v každém cyklu. [19]



Obr. 4.2: Multiplexor [19]

4.1.2 Přenos dat

Nejmenší jednotka informace, která slouží pro přenos, je jeden bit. Přenos dat je realizován buďto v paralelním nebo sériovém režimu. [19]

Paralelní režim slouží pro přenos několika bitů současně po separátních vodičích. Tento přenos je rychlý, ale používá se pouze na malé vzdálenosti, jelikož případné zpoždění jediného bitu vede k nesrozumitelnosti celého znaku, tudíž k poruše příjmu informace. [19]

Sériový přenos znamená přenos bit po bitu, kde je třeba přenášené znaky předem převést do posloupnosti bitů a po příjmu je opět složit. Charakteristikou je pak doba přenosu jednoho bitu neboli *bit time*. [19]

Důležitá je otázka synchronizace vysílače a přijímače, tedy určení okamžiků, kdy je stav signálu důležitý, kdy je hodnota dat platná. U paralelních přenosů se tato otázka obvykle řeší přidavnými řídicími signály. U sériových přenosů nebývá možné

tyto řídicí signály přenášet separátně. Podle způsobu synchronizace při přenosu se hovoří o přenosech asynchronních a synchronních. [19]

Asynchronní přenos znamená, že jsou data posílána jako každý znak zvlášť, přitom každý znak má svoji vlastní synchronizaci. Asynchronní přenos je relativně neefektivní, režie spojená se synchronizací každého znaku zvlášť je značná. Asynchronní přenos se používá zejména pro pomalejší přenosy nebo přenosy menších objemů dat. [19]

Synchronní přenos znamená, že se posílají celé bloky dat ve formě souvislého bloku bitů, každý blok je pak předcházen synchronizačními bity. V době, kdy se nepřenášejí žádná data, přenášejí se pouze speciální klidové znaky. Synchronní přenos vyžaduje vyrovnávací paměť. Používá se především pro vysoké rychlosti přenosu. [19]

4.2 Počítačové sítě

Síť je systém vzniklý vzájemným propojením prvků, což nám umožňuje snadný přenos informací mezi jednotlivými prvky v reálném čase podle určitých definovaných pravidel. Vytvoření prvních počítačových sítí sahá až do 60. let 20. století, kde se poprvé experimentovalo s komunikací mezi počítači, a byla vyvinuta celá řada technologií a pravidel. Nejprve docházelo k formování malých sítí o několika zapojených jednotkách, v dnešní době je trend spojování sítí do jedné velké globální sítě Internet. [17]

4.2.1 Rozdělení sítí podle velikosti

Počítačové sítě se rozdělují podle mnoha hledisek. Toto rozdělení není pouze formální, ale vyděluje skupiny sítí, které mají obdobnou technickou realizaci, obdobnou oblast použití a obdobné vlastnosti.

- a) **lokální síť** (*Local Area Network, LAN*): Jedná se především o síť malého rozsahu, tedy v rámci jednoho objektu, menší budovy, patra nebo místnosti. Všechny prostředky (zejména přenosové cesty) jsou ve vlastnictví provozovatele, nepoužívají se veřejné datové linky. Celá síť je pod kontrolou

(logickou i fyzickou) jednoho pracovníka, označovaného jako správce sítě. Sít mívá řádově desítky stanic. [17]

- b) **virtuální lokální síť** (*Virtual Local Area Network, VLAN*): Virtuální síť je obdobou klasické lokální sítě s tím, že LAN závisí na fyzickém uspořádání a propojení, kdežto VLAN vzniká logicky uvnitř fyzické LAN [17]
- c) **metropolitní síť** (*Metropolitan Area Network, MAN*): Jednotky počítače jsou rozmístěny v rozsahu města, rozlehlost sítě je tedy několik desítek kilometrů [17]
- d) **rozsáhlé síť** (*Wide Area Network, WAN*): Jedná se o síť značného rozsahu. Jsou umístěny jako propojení více měst, států popřípadě kontinentů. Dnes je síť WAN omezena již velikostí Země. Síť je tvořena řídicími (uzlovými) počítači, které jsou mezi sebou propojeny prostřednictvím komunikační podsítě [17]

4.2.2 Hierarchie uspořádání počítačů v síti

- a) **rovný s rovným** (*peer to peer, p2p*): Všechny počítače jsou v síti hierarchicky rovnocenné. Principiálně každý počítač může poskytovat svoje prostředky a služby všem ostatním počítačům. Tento typ je vhodný zejména pro síť s menším počtem počítačů (malé LAN). [19]
- a) **klient/server**: V síti se nacházejí dva druhy počítačů a to poskytovatelé služeb (servery) nebo konzumenti služeb (klienti, stanice). V některých případech lze na serverech současně pracovat jako na stanicích. Poměr serverů ke stanicím se pohybuje přibližně od 1:10 až po 1:100 [19]

4.2.3 Topologie sítí

Sítě mohou být navrženy různými způsoby s ohledem na účel sítě, spolehlivost a také náklady na výstavbu sítě. Topologie charakter sítě a způsob přenosu dat mezi jednotlivými členy v síti.

a) LOGICKÁ TOPOLOGIE

Popisuje princip přenosu dat v síti, kudy protékají z jednoho zařízení do druhého, přičemž se vždy nemusí shodovat s fyzickým schématem sítě.

b) FYZICKÁ TOPOLOGIE

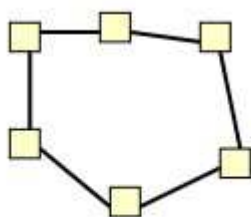
Popisuje reálnou konstrukci sítě, zapojená zařízení a jejich umístění včetně instalovaných kabelů

Dvoubodový spoj: je nejjednodušším typem topologie sestávající se z dvou koncových bodů (viz obr. 4.3). Příkladem může být telefonní pevná linka.



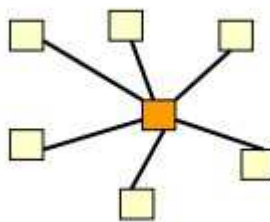
Obr. 4.3: Schéma dvoubodového zapojení

Kruhová topologie: označuje logické zapojení, při němž je každý uzel (počítač) spojen se dvěma dalšími tak, aby společně tvořili kruh (viz obr. 4.4). Přenos dat je relativně jednoduchý, nevznikají kolize, data ovšem musí projít přes každý uzel mezi odesílatelem a příjemcem což přenos prodlužuje a při výpadku jednoho uzlu dochází k ochromení celé sítě.



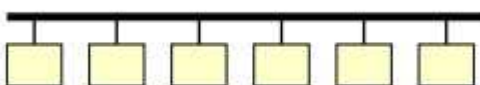
Obr. 4.4: Schéma kruhové topologie [19]

Hvězdicová topologie: patří k nejpoužívanějším způsobům propojování počítačů. Každý počítač je připojený pomocí kabelu k centrálnímu prvku (*hub nebo switch*). Mezi každými dvěma stanicemi existuje vždy jen jedna cesta, což znamená, že selhání jedné stanice neohromí provoz sítě ovšem, kolaps centrálního prvku znamená kolaps pro celou síť (viz obr. 4.5).



Obr. 4.5: Hvězdicová topologie [19]

Sběrníková topologie: je spojení přes jediné přenosové médium (sběrnice), ke kterému jsou připojeny všechny uzly sítě (viz obr. 4.6). Vyznačuje se nízkými náklady, ale omezenou rychlostí přenosu a také může docházet ke kolizím. [19]



Obr. 4.6: Sběrníková topologie [19]

4.2.4 Propojení zařízení a přenosová cesta

V reálně existujících sítích obvykle nenastávají případy, kdy pro libovolnou dvojici komunikujících zařízení existuje samostatná přenosová cesta. Vznikne-li potřeba komunikace dvou zařízení, je potřeba mezi nimi vytvořit spojení (kanál nebo okruh – fyzický nebo virtuální). Přepojování tedy dělíme na přepojování okruhů nebo přepojování paketů.

Přepojování okruhů je nejstarší způsob používaný v telegrafních a telefonních sítích. Dále se ještě dělí na takzvané prostorové a časové.

Prostorové přepojení - dochází k vytvoření fyzického vytvoření přenosové cesty od zdroje ke spotřebiči, přičemž cesta je obvykle udržována (blokována) po celou dobu trvání spojení.

Časové přepojení - vychází z podstaty časového dělení s tím, že ze společného časového rámce se vydělují časové úseky pro různé kanály.

Přepojování paketů vzniklo z přepojování zpráv. Přepojování zpráv vychází z názoru, že je neúčelné udržovat spojení během celého trvání dialogu dvou

zařízení, jako je tomu u přepojování okruhů. Každá zpráva je posílána separátně, obvykle tak, že ani po poslání zprávy není vystavěna kompletní cesta, ale využívá se přenosu s mezilehlou pamětí v přepojovacích uzlech.

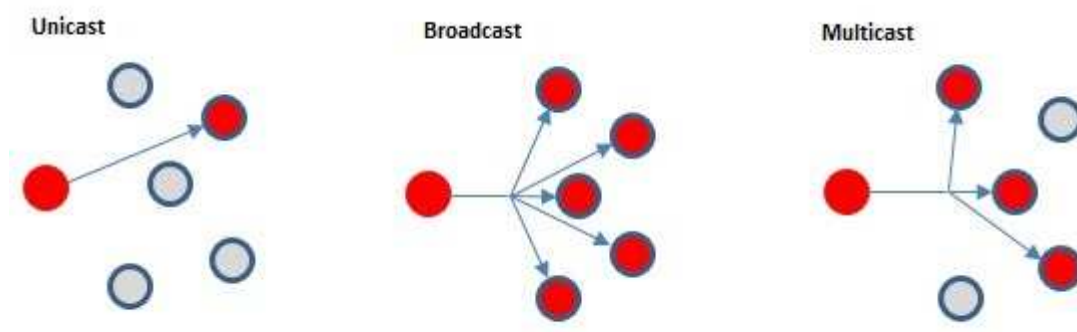
Kromě pojmu paket se používá také pojem rámec (*frame*). Tímto označením se rozumí paket doplněný o režijní údaje dané konkrétní počítačové síť (*adresace příjemce a odesílatele, zabezpečení přenosu proti chybám apod.*). [19]

4.2.5 Typy komunikace vysílačů a přijímačů

Unicast: Termín používaný pro typ komunikace, kde jsou data vysílána z jednoho vysílacího členu do druhého přijímacího (viz obr. 4.7).

Broadcast: Termín popisující typ komunikace, kde je informace vysílána z jednoho vysílacího členu do všech přijímacích členů (viz obr. 4.7).

Multicast: Termín používaný pro komunikaci, kde jsou informace posílány z jednoho nebo více vysílačů do skupiny přijímačů (viz obr. 4.7). [23]



Obr. 4.7 Typy komunikace mezi vysílačem a přijímačem

4.2.6 Ethernet

Ethernet je název souhrnu technologií používaných pro lokální síť (*LAN*). Ještě před rokem 2000 se Ethernet stal dominantní technologií pro drátové nebo kabelové lokální síť a prakticky synonymem pro LAN. Byl vyvinut roku 1976 společností Xerox ve spolupráci se společnostmi Intel a DEC. Ethernet se používá v sítích s topologií *sběrnice* nebo *hvězda*. Ethernet je založen na standardu *IEEE 802.3* vytvořených

institutem IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), který definuje pravidla pro konfiguraci ethernetové sítě a také specifikuje, jak budou jednotlivé členy v síti komunikovat mezi sebou. [16]

V praxi používáme různé verze standardů ethernet pro různé účely. Velké odlišnosti najdeme zejména v rozdílných přenosových rychlostech. Původní Ethernet pracoval s přenosovou rychlostí 10Mb/s , později byla pod názvem Fast Ethernet uvedena na trh varianta umožňující používat rychlost 100Mb/s, v současné době je standardizován a běžně používán tzv. Gigabit Ethernet pracující s rychlostí až 1000Mb/s. Stále se pracuje na jeho modernizaci, a v současné době je přijata i norma pro další a ještě rychlejší verzi. [19]

4.3 Sběrnice

U původních analogových avionických systémů bylo použito pro adekvátní komunikaci mezi systémy velké množství vodičů. Bylo třeba zapotřebí alespoň jednoho páru vodičů pro jeden druh signálu, v praxi bylo tedy zapotřebí použití značného množství spojení mezi jednotlivými zařízeními.

U digitálních systémů jsou všechna analogová data převedena do ekvivalentní digitální podoby. Aby mohla být data přenášena jedním párem vodičů, jsou jim přiřazeny unikátní adresní kódy pro předejití možných kolizí a tím znehodnocení celého přenosu. Tento pár vodičů nazýváme *sběrnice*.

Sběrnice je skupina vodičů, skrze které jsou data posílána z jedné části počítače do druhé. Můžeme si sběrnici představit jako dálnici, po které jsou data transportována. Pokud hovoříme o počítačové sběrnici, většinou máme na mysli interní sběrnici, která spojuje vnitřní části počítače s centrální výkonnou jednotkou (CPU) a pamětí. Pokud se ale bavíme o sběrnicích používaných v leteckém průmyslu, máme na mysli sběrnice propojující jednotlivé počítačové řídicí jednotky mezi sebou. Sběrníkový systém zajišťuje efektivní způsob přenosu digitalizovaných dat.

Každá sběrnice se skládá z adresní a datové části. Datová část má za úkol přenášet samotná data, přičemž adresní část přenáší informaci o cíli zasílaných dat. Na letadlových sběrnících jsou tyto části zakomponovány do tzv. datového slova. Elektrické a mechanické parametry sběrnice jako je např. formát přenášených dat, časování přenosu, řízení přenosu nazýváme jako protokol sběrnice.

Sběrnice může být realizována buďto jako sériová nebo paralelní. Sériová sběrnice vyžaduje menší nároky na množství použitých vodičů, na druhou stranu je mnohem pomalejší než paralelní sběrnice. Paralelní sběrnice obsahuje jeden vodič pro každý bit datového slova. Přenášením více bitů současně se sice zvýší přenosová rychlost sběrnice, ovšem dochází u nich k tzv. zkreslení a to kvůli mírně odlišným vlastnostem vodičů při paralelním přenosu.

Letadlové sběrnice využívají většinou sériový datový přenos, jelikož minimalizuje nároky na hmotnost použité kabeláže a nedochází ke zkreslení přenosu. Když uvažíme množství systémů používaných na moderních letadlech, kde je vyžadován velký přenos dat napříč jednotlivými systémy, a to i na poměrně značné vzdálenosti, je za těchto okolností úspora použitím sériové sběrnice významná. [20]

Při konstrukci letounu A 380 byly k dispozici tyto, již zavedené a fungující, standardy pro avionickou datovou komunikační síť letadla (*ADCN*). Jedná se o specifikace, které určují, jak budou jednotlivé avionické členy a systémy mezi sebou propojeny, a dále pak podle jakých pravidel spolu budou komunikovat. Pro použití datových sítí v letadle se nabízely tyto použitelné standardy: ARINC 429, MIL-STD-1553 a ARINC 629 s maximálními přenosovými rychlostmi 100 Kb/s, 1Mb/s a 2Mb/s. Žádný z těchto standardů nebyl schopen splnit obrovské nároky vyžadované pro daný provoz. To dalo vzniknout standardu Avionics Full Duplex Switched Ethernet (*AFDX*), který byl poprvé použit na letounu A 380. [15]

V následujících odstavcích specifikuji konkrétní typy sběrnic a zmíním se také o jednom z největších výrobců sběrnic, kterým je firma ARINC.

4.3.1 Společnost ARINC

Společnost ARINC (*Aeronautical Radio, Incorporated*) je významná společnost, která se zabývá vývojem nových systémů a jejich pozdější optimalizací pro různé oblasti industriální sféry (viz obr. 4.8).

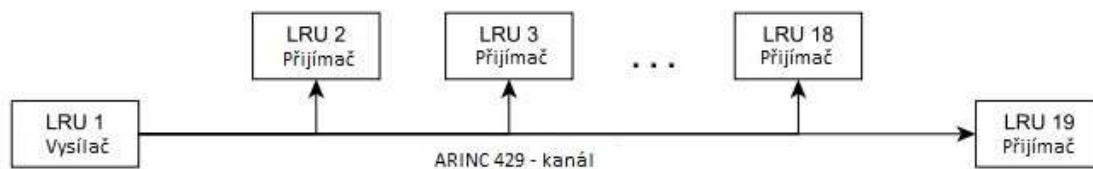


Obr. 4.8 Logo společnosti ARINC [22]

Společnost byla založena v roce 1929 čtyřmi velkými leteckými společnostmi s primárním cílem sjednocovat licenční podmínky a standardizovat radiovou komunikaci. Společnost se později celosvětově rozrostla, a její služby v letecké dopravě využívají bezmála veškerí výrobci letadel. Společnost ARINC se také stala vedoucí společností pro vydávání specifikací a standardů pro leteckou dopravu [21]

4.3.2 ARINC 429

Specifikace ARINC 429 hovoří o sběrnici známé jako *Mark 33 Digital Information Transfer System*. Jedná se o jeden z prvních sériových komunikačních kanálů speciálně vytvořených pro avionické systémy. Skládá se z jednoho vysílacího bloku a až devatenácti přijímačů, které mohou být zapojeny až na vzdálenost 90 metrů. Tyto bloky se nazývají též jako *řadové výměnné jednotky (LRU)*. Jako komunikační médium je nejčastěji používána kroucená dvojlinka. Na rozdíl od moderních síťových protokolů, zde vysílač vždy data pouze vysílá. Přes kanál jsou data přenášeny k zapojeným přijímačům, které data pouze přijímají. Jedná se tedy o jednosměrný simplexní přenos (viz obr. 4.9).



Obr 4.9: Schéma zapojení ARINC 429 [13]

Každý článek může být napojen na více sběrnic, a může se tedy chovat zároveň jako přijímač i jako vysílač. Toto je velmi důležité, jelikož obousměrná komunikace (zpětná vazba) mezi systémy je nezbytná. Příjemce signálu tedy odpoví vysílači přes jiné zapojení, kde je příjemce postaven do role vysílače, a vysílač do role příjemce. Protože v struktuře zapojení ARINC 429 může existovat pouze jeden vysílací člen, je třeba vytvořit pro každý zapojený přijímací člen speciální zpětnovazební kanál, kde bude právě příjemce postaven do role vysílače, a bude tedy schopen reagovat na podnět od vysílače.

Zprávy jsou vysílány dvěma rychlostními úrovněmi: *pomalou* (12-14kb/s) nebo *rychle* (100kb/s), přičemž není zapotřebí znát zdroj informace, cílovou adresu nebo časové řazení. Pokud nejsou posílána žádná data, napětí na kanálu je nulové. Každá část přenesených dat přes kanál se nazývá *slovo*. Zprávy se pak skládají z mnoha slov, kterým se říká *záznamy*. Existují dva typy slov: *datová slova* (přenášejí konkrétní informaci) nebo *kontrolní slova* (řídící informace). [13]

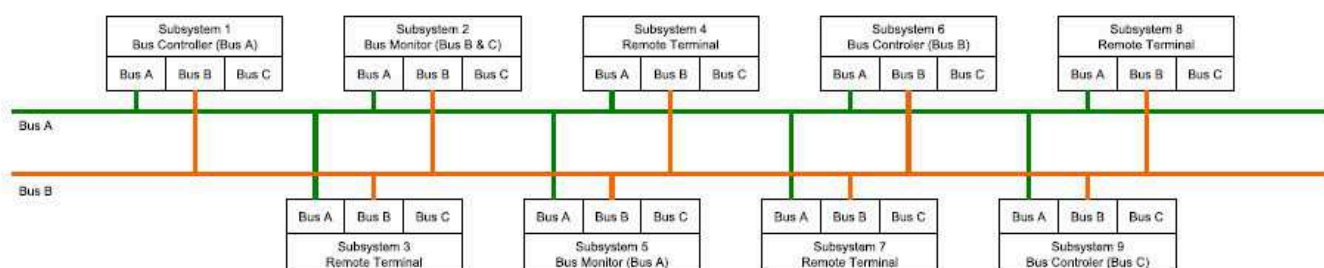
4.3.3 MIL-STD-1553

Standard MIL-STD-1553 je označován také jako *Aircraft Internal Time Division Command/Response Multiplex Databus*, je široce používán u vojenských letadel. Je dokonce použit v konstrukci mezinárodní vesmírné stanice. Tato sběrnice tvoří rozhraní mezi klasickými standardy a moderními standardy jako jsou třeba AFDX (viz kapitola 4.4.4).

Tento standard byl postaven na prvotních přenosových rychlostech kolem 1Mb/s. Později vznikly verze jako *extended*, která dosahuje rychlosti až 120 Mb/s a verze *hyper*, která se pyšní až 200 Mb/s.

Je zde definována role ovladače sběrnice (*bus controller*). Tento přístroj je zodpovědný pro začátek každé komunikace mezi jednotlivými subsystémy připojenými na sběrnici přes tzv *command-response protocol*. V případě, že ovladač sběrnice nebude funkční, přebírá jeho roli jiný tzv. *remote terminal* (viz obr. 4.10).

Sběrnice se chrání proti chybám také paralelním přenosem informací, přičemž každá sběrnice pracuje pouze jako *half duplex*. Subsystémy operující s daty přes sběrnici na ni nejsou přímo napojeny, ale využívají jednotlivé *remote terminals* pro přístup k sběrnici. Veškerá komunikace přes sběrnici je hlídána kontrolorem sběrnice (*bus monitor*). Přenos dat je realizován jako *unicast*, přičemž design sběrnice dovoluje použít *broadcast*, ovšem nakonec bylo z této volby upuštěno. [13]



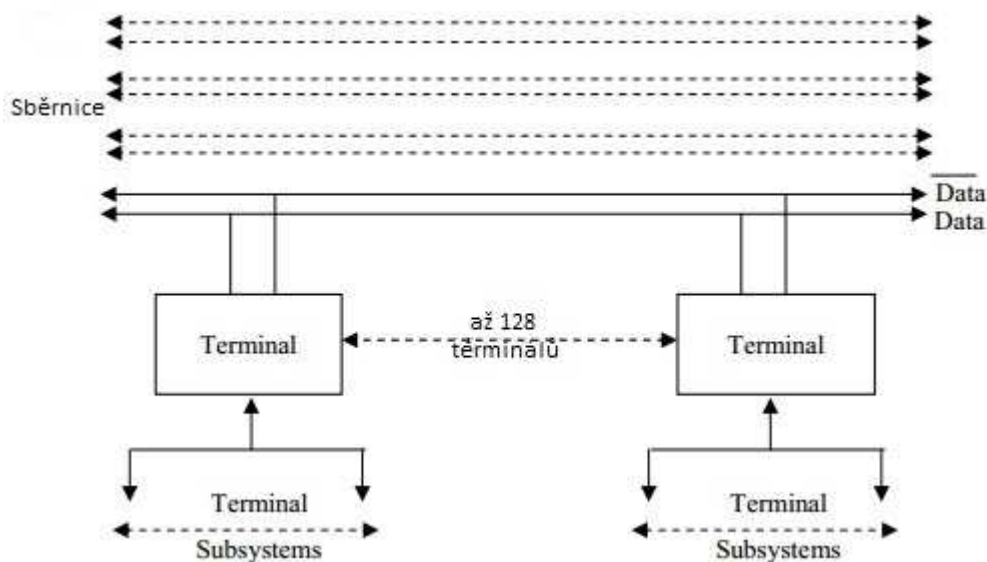
Obr. 4.10: Struktura zapojení MIL-STD-1553 [13]

4.3.4 ARINC 629

Standard ARINC 629, znám také pod názvem *Digital Autonomus Terminal Access Communication*, byl vyvinut společnostmi NASA a Boeing, později však byl vývoj přenechán společnosti ARINC, která jej upravila do finální podoby. Cílem bylo odstranit omezující parametry, do té doby hodně používaného ARINC 429. [13]

ARINC 629 je oproti předchozímu typu ARINC 429 charakterizován typem přenosu *unicast* ale také dovoluje *broadcast* na sdíleném přenosovém médiu (viz kapitola 4.2.5). Můžeme říci, že to byl jeden z prvních pokusů pro zvýšení flexibility systému a snížení váhy použité kabeláže. Sběrnice pracuje na principu integrovaného vysílače a přijímače do jednoho koncového členu, tedy každý terminál je schopen vysílat a zároveň přijímat data od všech dalších terminálů zapojených na sběrnici. Navíc

je možno na sběrnici připojit až 128 terminálů při přenosové rychlosti dosahující až 2Mb/s (viz obr. 4.11). [20]



Obr 4.11: Struktura zapojení ARINC 629 [20]

Části základního konceptu protokolu jsou nyní používány také v moderních standardech, především použitím předdefinovaných „mezer“ mezi jednotlivými přenášenými daty pro zabránění jejich ztráty, nebo zhroucení systému. [20]

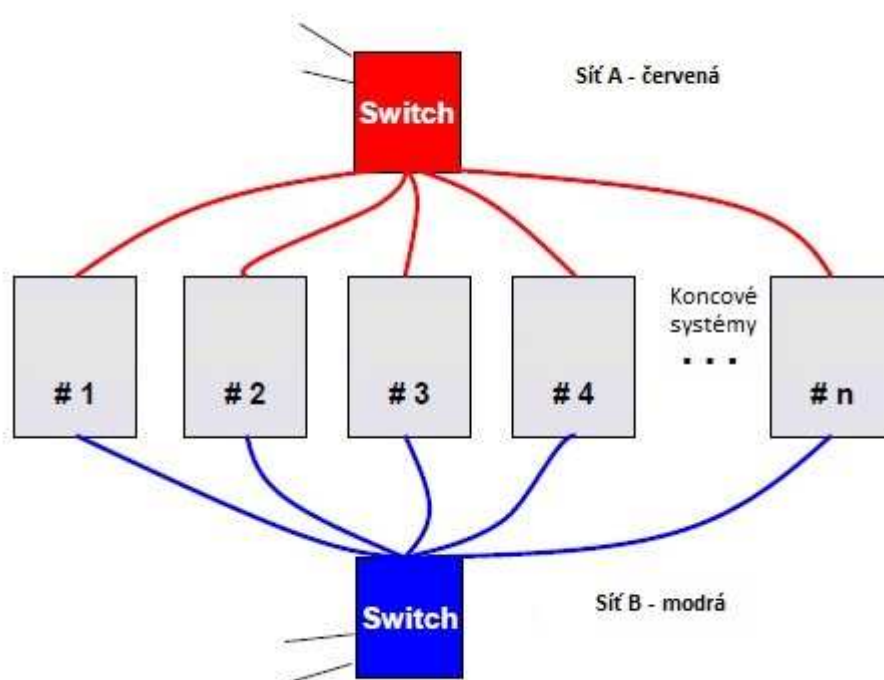
Navzdory mnohem modernějším vlastnostem, se specifikace nedočkala širšího použití v leteckém průmyslu. Výjimkou jsou letouny Boeing 777, Airbus A 330 a A 340, ovšem i tak byl při výrobě instalován jako záložní systém právě ARINC 429. [13]

4.3.5 ARINC 664/AFDX

ARINC 664 (část 7) byl původně vyvinut společností Airbus jako takzvaný *Avionics Full-Duplex Ethernet switching (AFDX)*. Později byl ale zaveden také společností ARINC pod názvem ARINC 664. V té době již byl vyvinut a používán systém *fly by wire (řízení po drátě)*, který ale nebylo možno uplatňovat na letadlech vybavených staršími typy sběrnicových systémů a to především díky nadměrné hmotnosti a složitosti případného zapojení. S příchodem ARINC 664 se však tyto problémy, a spousta dalších, odstranily. [13]

AFDX funguje na principech sériové datové sběrnice založené na klasickém standardu Ethernet IEEE 802.3. Přenosové rychlosti jsou buďto 10 Mb/s při měděném médiu, nebo 100 Mb/s s použitím optických vláken. Protože standard Ethernet není deterministický (neřízený, bez garance odezvy), je tedy nutné upravit tento standard tak aby splňoval deterministická kritéria letadlové datové sítě (ADCN). [13]

AFDX se skládá z koncových systémů (*end system*) a přepínačů (*switch*). Koncový systém je zařízení, které je připojeno na AFDX síť, obvykle je koncový systém část avionického nebo letadlového subsystému, které potřebuje vysílat a přijímat data přes AFDX síť. Minimálně jeden, ale většinou více přepínačů stojí mezi každou dvojicí koncových systémů. Každý koncový systém napojený na síť AFDX je připojen ke dvěma nezávislým sítím: *síť A – červená* a *síť B - modrá* (viz obr 4.12). Srdcem každé AFDX sítě je přepínač, který fyzicky spojuje všechny koncové systémy napojené na tento přepínač.

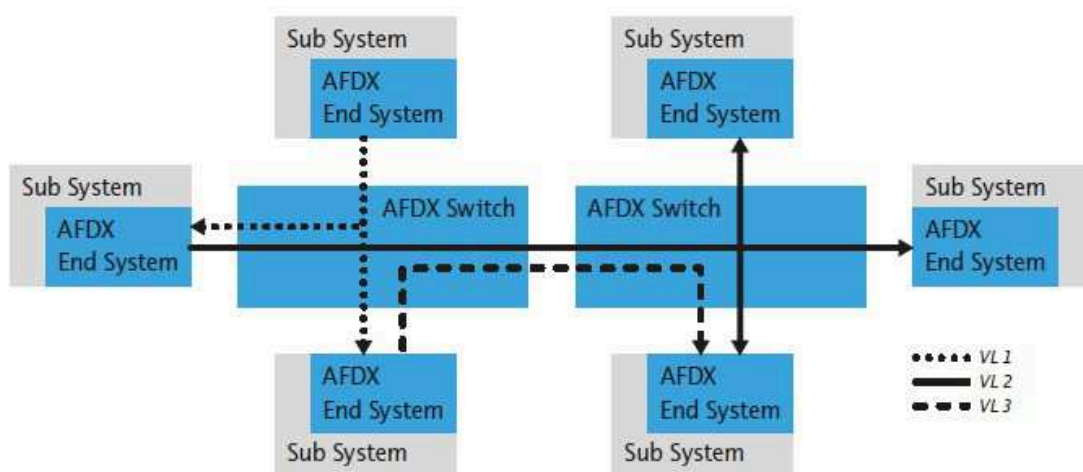


Obr 4.12 Struktura zapojení koncových systémů na přepínače (switch) [15]

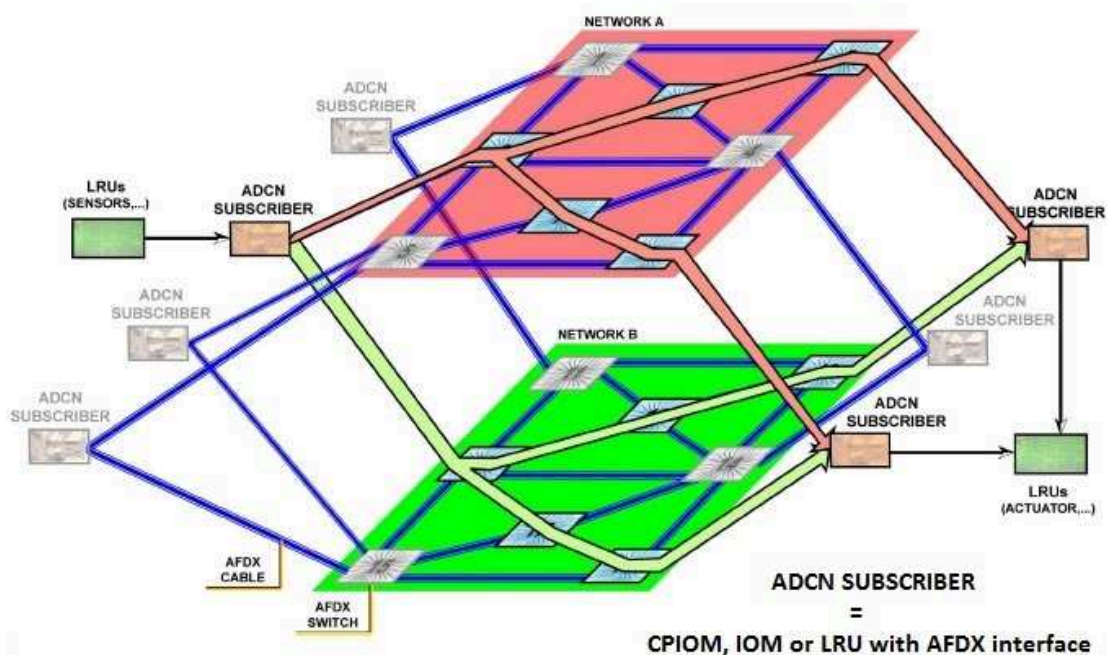
Přepínač je schopen přeposílat data z kteréhokoliv připojeného koncového systému do jednoho, nebo mnoha dalších, koncových systémů připojených na přepínači. Přepínač je také nakonfigurován, aby monitoroval parametry příchozích signálů

z koncových systémů. Pokud nějaký koncový systém překročí povolené parametry, příchozí data jsou zahozena a nepřešlány až do doby, než se parametry signálu opět ustálí do povolených mezí. Dochází tak k hlídání chování jednotlivých koncových systémů. Podle standardu musí být každý AFDX přepínač vybaven alespoň 20 porty, tedy musí být spojen alespoň s 20 koncovými systémy. [15]

Každý koncový systém na síti je připojen s přepínačem přes jeden vodič. To znamená, že komunikace mezi dvěma koncovými systémy je realizována přes jednu fyzickou komunikační cestu. Avšak z pohledu systému nebo aplikace je možné vytvořit mnoho různých logických komunikačních spojení, takzvaných virtuálních spojení (*virtual links, VS*), která všechna používají jedno fyzické spojení (viz obr. 4.13). Pomocí virtuálních spojení je tedy možno vytvořit sofistikovanou síťovou komunikaci při zajištění deterministického chování (viz obr. 4.14). [5]

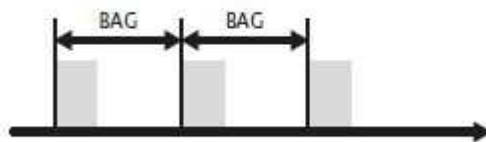


Obr 4.13: Virtuální spojení koncových systémů (end systém) přes přepínače (switch) [5]



Obr. 4.14: Znáznornění virtuálních propojení v síti ADCN [8]

Vytváření a přenos dat pomocí virtuálních spojů je zajišťováno pomocí takzvaného *end system virtual link scheduler* (plánování virtuálních spojů). Toto zařízení spojuje data z jednotlivých virtuálních spojů od všech koncových systémů do jednoho fyzického spoje. Každý virtuální spoj si můžeme představit jako uspořádaný tok dat. Tedy při mnoha virtuálních spojeních existuje právě tolik rozdílných toků dat, které musí být multiplexovány do jednoho uceleného toku. Multiplexování je regulováno pomocí *Bandwidth Allocation Gap* (BAG – specifická časová mezera), která je charakteristická pro každý virtuální spoj (viz obr. 4.15). [15]



Obr 4.15: BAG monitoring přenášených dat

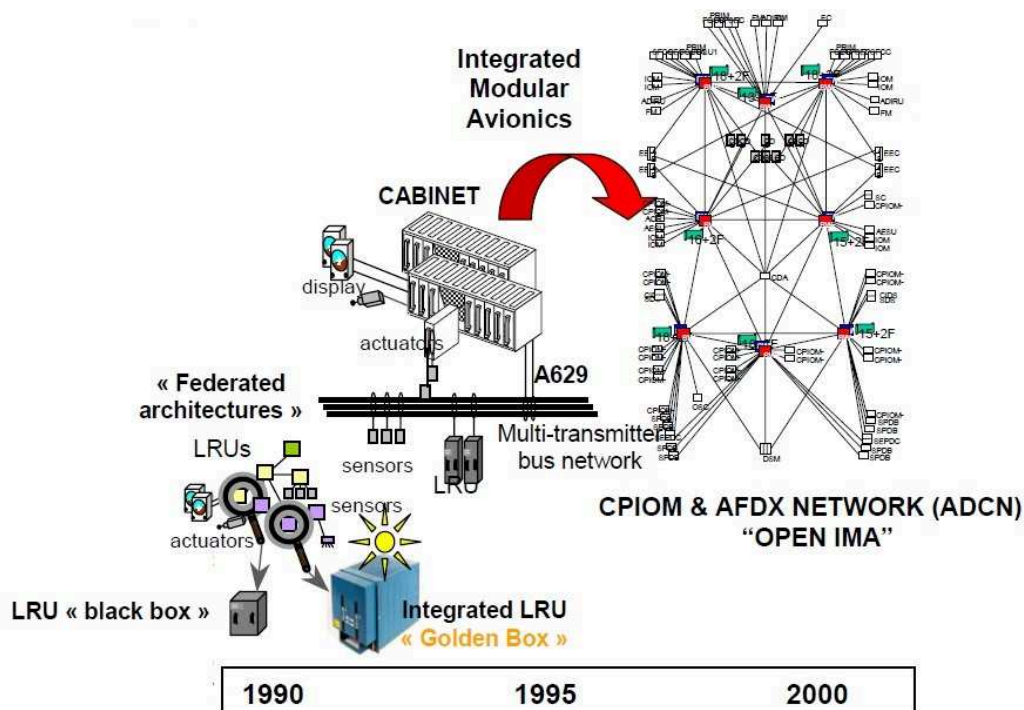
5 INTEGROVANÁ MODULOVÁ AVIONIKA

Letouny nové generace jako jsou A 380, A 350, B 787 a A 400M obsahují, v porovnání s předešlými generacemi, stále sofistikovanější systémy. Z důvodů snížení celkové hmotnosti kabeláže a jednotlivých systémů, menším nárokům na prostor pro uložení systémů a snížení nákladů na údržbu, je nezbytné vytvořit nový systém, který zpracovává co největší množství dat a to bez snížení spolehlivosti a bezpečnosti. Dochází tak k vytvoření komplexnějších struktur propojení. Většinou byly systémy a jejich architektury zapojení založeny na technologiích, které byly vyvinuty speciálně pro použití na konkrétním letadle, a jejich vývoj byl pak velmi nákladný. Později se přišlo na to, že je mnohem jednodušší a levnější upravit stávající fungující a spolehlivou komerční technologii pro účely v letecké dopravě.[15]

Integrovaná modulová avionika byla ve své prvotní podobě představena americkou firmou Honeywell v roce 1995 na letadle Boeing 777. Společnost Airbus při vývoji, tehdy nového, letounu A 380 tento model zásadně upravila do podoby, která je používána dodnes jako takzvaný Otevřený systém modulované avioniky (*Open IMA*). Tento upravený model je pouze s malými rozdíly používán na moderních letounech společnosti Boeing. Dnes se tedy IMA používá na většině moderních letadel a vrtulníků. [6]

Firma Honeywell je jednou z hlavních mezinárodních konglomerátních společností v USA. Byla založena v roce 1906 a mimo oblast *letectví* se zaměřuje také na odvětví pro *automatizaci a řízení, vývoje speciálních materiálů, dopravních systémů, výzkumu a vývoje*. [6]

IMA vytvořila nový standard pro spojení a komunikaci mezi avionickými systémy na letadle (viz obr. 5.1). Hlavní cíl je zakomponování většiny letadlových funkcí do standardizovaných modulových jednotek, pracujících mezi sebou v síti.[4]



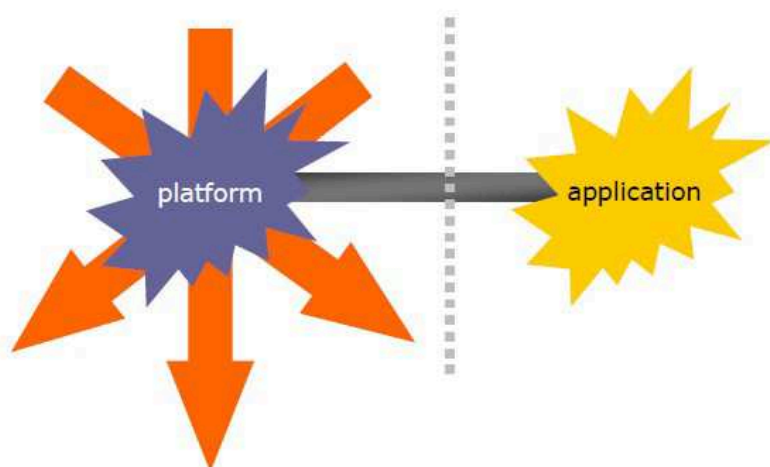
Obr. 5.1: Vývoj spojení a komunikace mezi avionickými systémy [3]

5.1 Platforma – výkonný prvek IMA

Trend v struktuře zapojení avionických systémů směřoval k tvorbě univerzálních počítačů, označovaných jako platformy (viz obr. 5.2). Samostatná platforma neplní žádnou avionickou funkci, ale pouze zajišťuje komunikaci, výpočetní a paměťové zázemí avionickým aplikacím. Můžeme tento koncept přirovnat k technologii osobních počítačů, které jsou dnes široce užívány. Osobní počítač zajišťuje požadované zázemí a zdroje aplikací, tedy hardware, komunikace, paměť, operační systém ... [3]

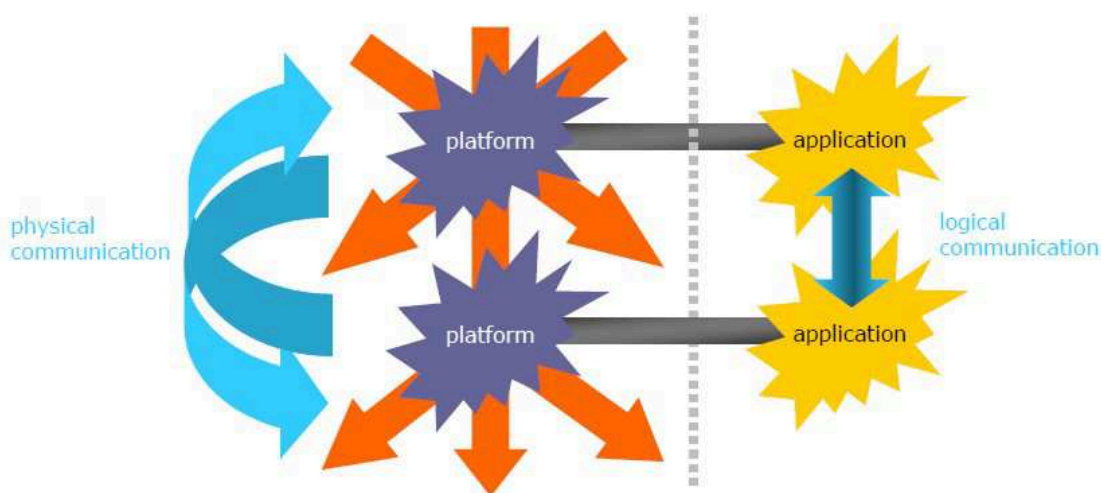
Platforma je ve své podstatě procesor vykonávající práci mnoha funkcí se standardizovaným rozhraním vstup/výstup. Přičemž softwarová technologie platformy zajišťuje oddělení jednotlivých funkcí. Pro komunikaci je použita síť s jednotným komunikačním protokolem. Když jsou tedy na vstupu do sítě data převedena do

jednotného komunikačního protokolu, mohou být použita pro kterékoliv zařízení připojené v síti, jak je uvedeno (viz obr. 5.3). [3]



Obr. 5.2: Vývoj platformy [3]

Každá platforma má standardizované systémové rozhraní, které je definované jako *aplikační programové rozhraní* (API). Pokud tedy dodavatel splňuje standardizované rozhraní, můžeme využít široké spektrum dodavatelů aplikací pro platformy, což podporuje rychlost vývoje a snižuje cenu díky konkurenceschopnosti. [3]



Obr. 5.3: Komunikace a sdílení dat napříč sítí - IMA [3]

Jedná se zejména o rozložení avionických funkcí na jejich základní elementy a následné přiřazení do kompetentních modulů:

výpočetní → výpočetní modul (CPM)

vstup/výstup → vstupně výstupní modul (IOM = I/O module)

napájení → napájecí modul (PSM)

výstup → výstupní modul (GWM)

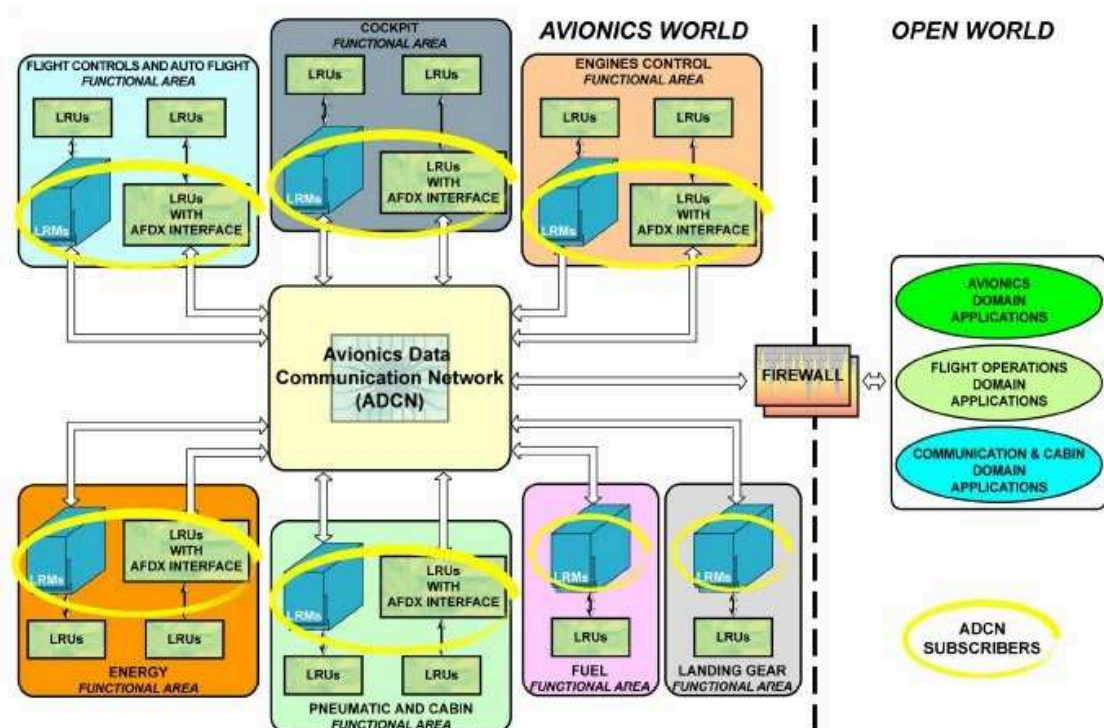
Fyzicky byly moduly umístěny do bloku, blok si můžeme představit jako uzavřenou krabici, ve které jsou moduly umístěny. Komunikace mezi moduly v bloku byla zajištěna vysoce spolehlivou a chybám odolnou sběrnicí, jelikož případná chyba na takovéto úrovni zapojení mohla způsobit katastrofické následky pro celou strukturu. [3]

5.2 Avionický a okolní svět

Na letounu společnosti Airbus A 380 je vytvořena koncepce rozlišující strukturu v rámci tzv. „avionického světa“ a „okolního světa“. Obě tato prostředí jsou z důvodů bezpečnosti a ochrany před škodlivým softwarem odděleny dvojnásobným firewallem (viz obr. 5.4).

Avionický svět v sobě sdružuje celkem 7 nezávislých funkčních oblastí (*Řídící prvky a Autopilot, Kokpit, Řídící prvky pohonné jednotky, Energie, Pneumatický systém a Kabina, Palivo, Podvozek*). Tyto oblasti jsou tvořeny skrze řadové výměnné jednotky (LRU) a/nebo řadové výměnné moduly (LRM), které společně sdílejí data a komunikují mezi sebou.

V rámci avionického světa mezi sebou letadlové systémy sdílejí potřebná provozní a údržbová data. Většina z těchto dat prochází skrze avionickou komunikační síť (ADCN), která je založena na komunikační technologii vyvinuté z ne – leteckého standardu, který byl posléze upraven a adaptován pro potřeby leteckého průmyslu. Technologie se nazývá AFDX. Komponenty přímo napojené na ADCN, tedy všechny LRM, se nazývají ADCN odběratelé (ADCN subscribers). [8]



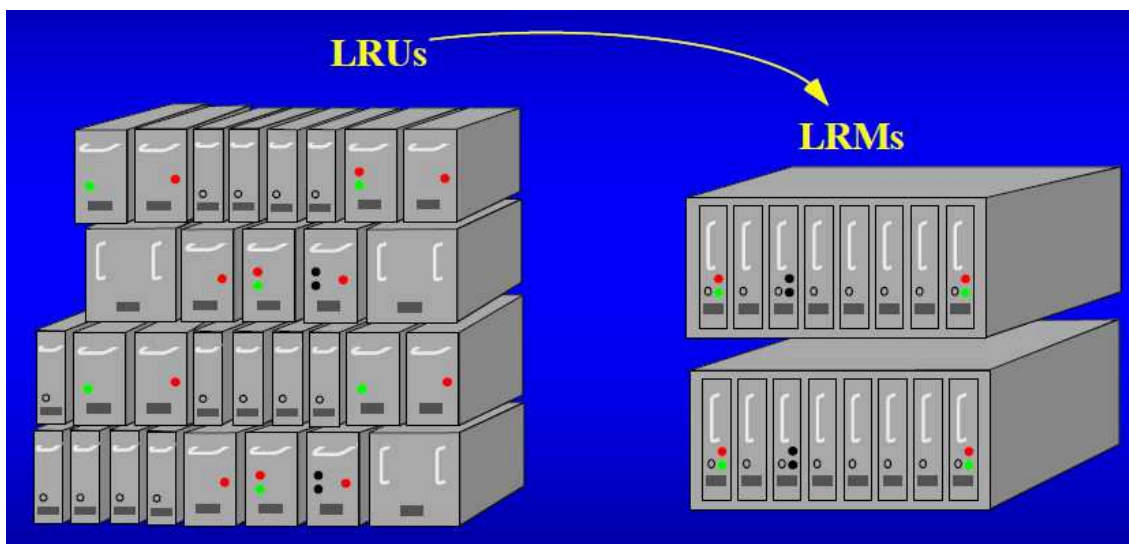
Obr. 5.4: Struktura avionického a okolního světa rozděleného firewallem [8]

5.3 Formování LRM

Trendem je formování LRM (viz obr. 5.5), které se skládají z komponent pro úpravu a zpracování informací:

- modul pro zpracování informací (*CPIOM*)
- vstupně výstupní modul (*IOM*)

Přičemž LRU slouží jako koncové jednotky zahrnující sensory a výkonné členy. Díky této transformaci došlo k značné úspoře hmotnosti, použité kabeláže a také náhradních dílů pro potřebnou údržbu.



Obr. 5.5: Trend vývoje LRM z LRU [12]

5.3.1 Hardwarové uspořádání

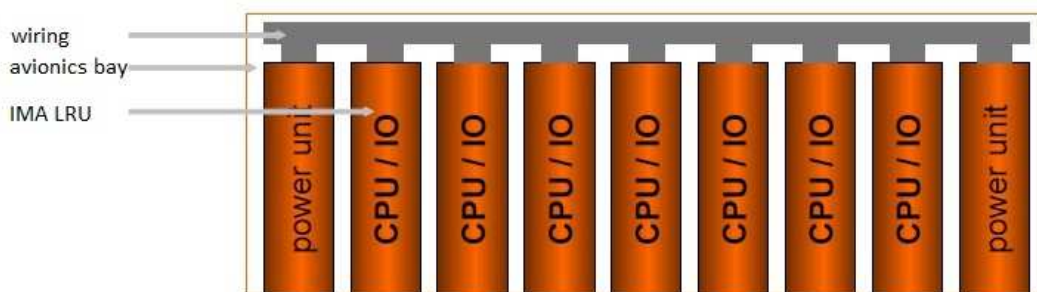
V struktuře IMA nehraje velkou roli pouze struktura softwaru, ale také rozdílné zapojení dílčích hardwarových jednotek. Platformy mohou být vyrobeny jako moduly umístěné buď do speciálně vytvořeného nosiče, nebo může být platformou samostatná nezávislá jednotka.

Při použití nosiče se nosič sám stává LRU, přičemž se skládá z mnoha LMR. Velká výhoda při použití tohoto typu zapojení je snížení hmotnosti letadla a optimalizace jeho spotřeby. Velkou nevýhodou je údržbová činnost, kdy nejsme schopni otevřít nosič, ve kterém jsou LRM uloženy, tudíž během běžné údržby nemohou být LRM spravovány. Pokud by tedy některý z modulů vyžadoval údržbovou činnost, musíme vymontovat celý nosič a zaslat jej do specializovaného centra pro údržbu (viz obr. 5.6). [3]



Obr. 5.6: Schéma zapojení modulů do nosiče [3]

Pokud jsou platformy instalovány jako samostatné jednotky, údržba se stává mnohem snadnější. Můžeme bez problémů vyměnit vadný komponent za nový bez nutnosti demontáže větších částí (viz obr. 5.7). [3]

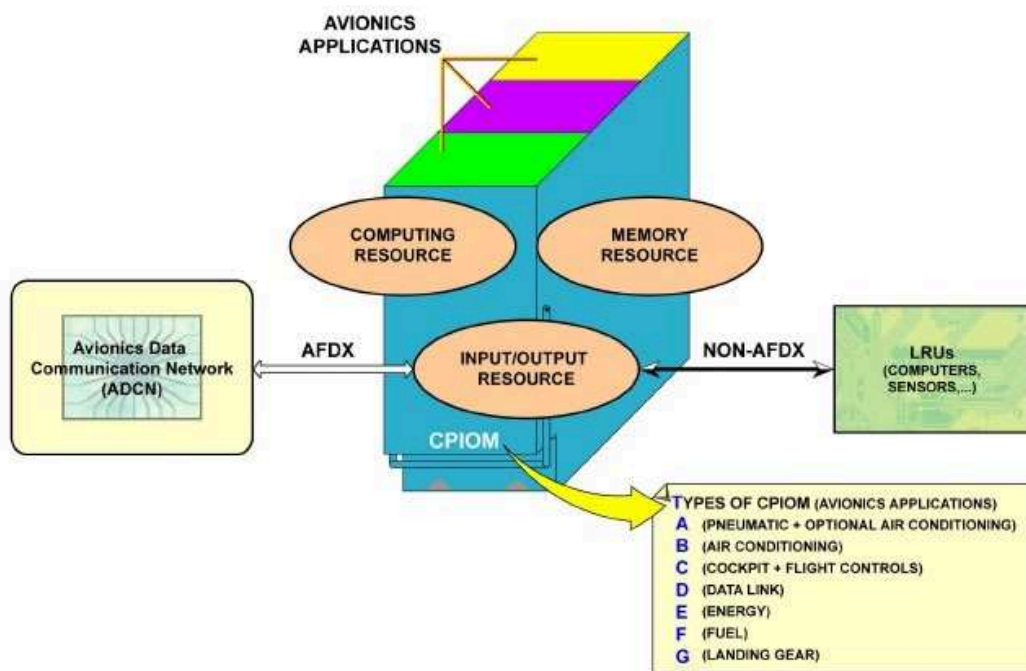


Obr. 5.7: Schéma zapojení samostatných modulů [3]

5.4 CPIOM – Core processing input/output module

CPIOM si můžeme představit jako „černou skříňku“, ve kterém může kompatibilní aplikace sdílet a ukládat svá data, později provést požadovaný výpočet a získat výsledky. CPIOM pracuje nezávisle s jednotlivými vstupy/výstupy dat od každé aplikace. CPIOM tvoří v podstatě rozhraní mezi vnitřní letadlovou sítí ADCN a okolím tvořeným LRU (viz obr. 5.8). V ADCN síti probíhá komunikace přes AFDX standard, je tedy třeba aby každý CPIOM převáděl data mezi jednotlivými standardy. [8]

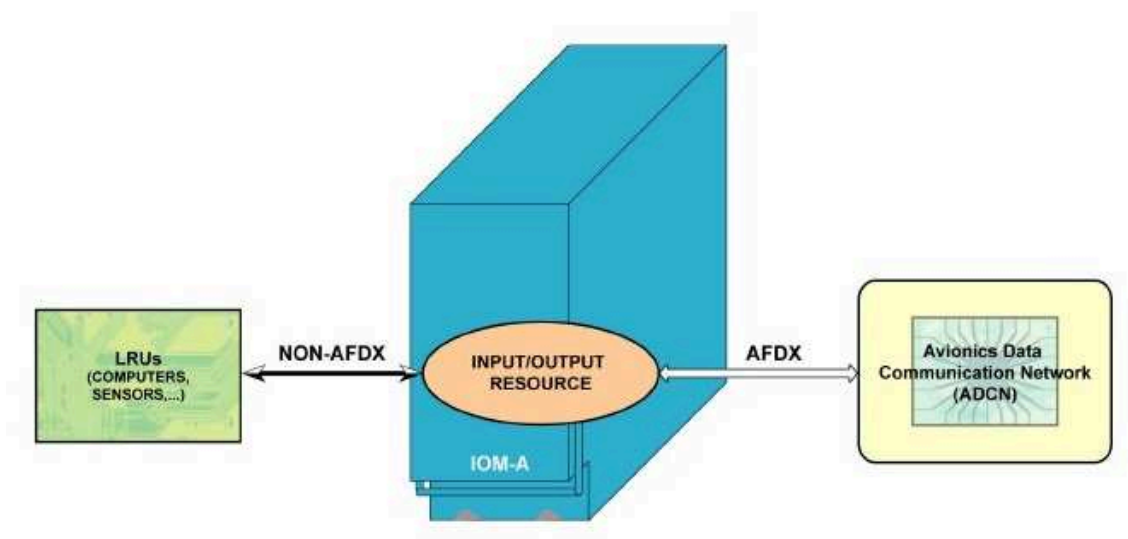
Celkem existuje 7 typů různých CPIOM, každý je identifikován písmenem: (*Pneumatický systém – A; Klimatizace – B; Kokpit a řídicí prvky – C; Data – D; Energie – E; Palivo – F; Podvozek – G*). Každý typ se liší unikátním identifikačním číslem (*part number*). CPIOMy se stejným identifikačním číslem mohou být zaměnitelné, ale mohou vyžadovat softwarovou rekonfiguraci. [8]



Obr. 5.8: Schéma a jednotlivé typy CPIOM [8]

5.5 IOM – Input/output module

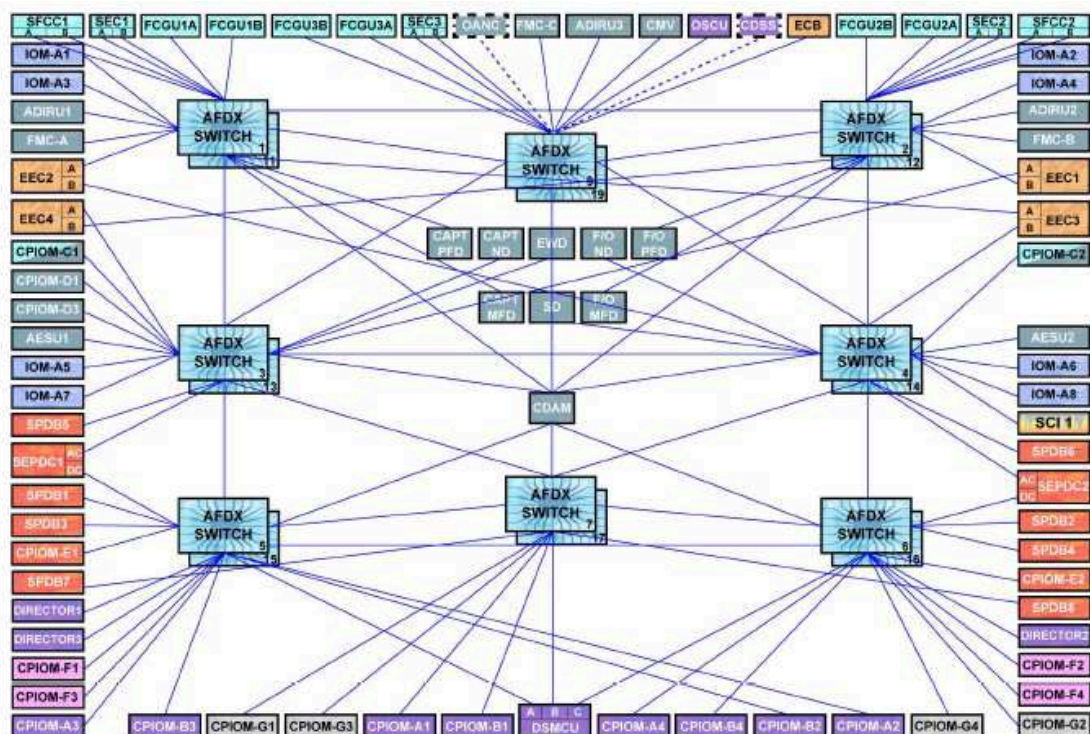
Hlavní rozdíl mezi CoreProcessingIOM a IOM je zřetelný již při pohledu na jeho název. IOM tedy neprovádí žádné výpočtové operace, ale pouze konvertuje non-AFDX data, přicházející z klasických LRU jednotek, do AFDX standardu, který je používán dále v letadlové síti. Existuje pouze jeden typ IOM, a ten je značen písmenem „A“, přičemž všechny moduly IOM jsou libovolně zaměnitelné (viz obr. 5.9). [8]



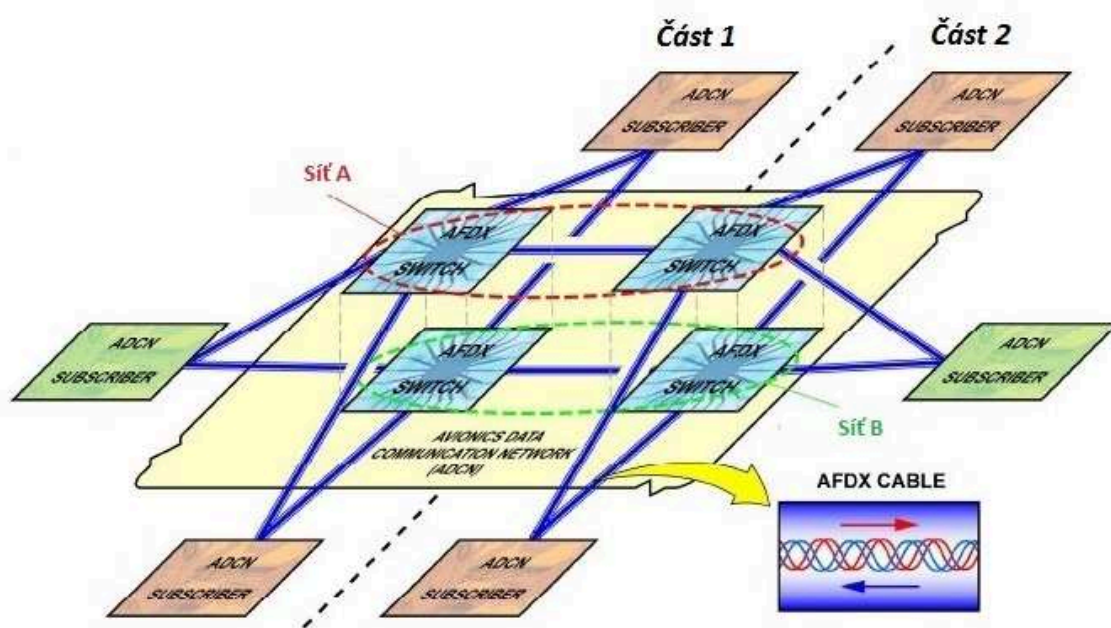
Obr. 5.9 Schéma IOM modulu [8]

5.6 Struktura ADCN

Avionická datová komunikační síť letounu Airbus A 380 je složena z 16 přepínačů. Osm přepínačů je použito pro každou síť, jejich vizualizace je uvedena (viz obr. 5.11). Dále se síť ADCN skládá z fyzických propojení mezi jednotlivými přepínači a koncovými zařízeními. Přepínače propojují navzájem jednotlivé letadlové systémy. Celé propojení pak dále obsahuje celkem 8xIOM, 22xCPIOM, 50xLRU s AFDX rozhraním (viz obr. 5.10). [8]



Obr. 5.10: Struktura ADCN s komponenty a vzájemným propojením [8]



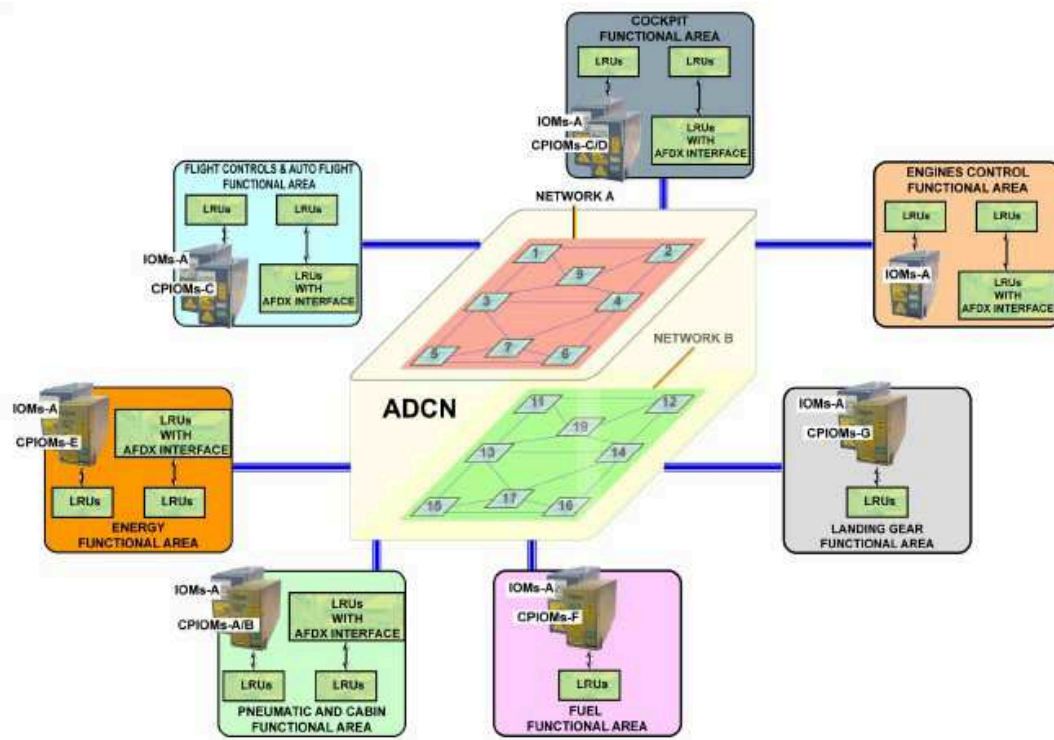
Obr. 5.11: Vizualizace propojených sítí v ADCN [8]

5.7 Systémy integrované v IMA

Mezi základní principy IMA patří integrace systémů na společnou komunikační síť, a zajistit snadný přenos dat mezi jednotlivými systémy. V předchozích kapitolách jsem se zmiňoval o důvodech vzniku této architektury, způsobu integrace,

komunikačním protokolu atp. V této kapitole rozvedu, o které hlavní systémové celky se jedná.

Jak již víme, IMA integruje 7 hlavních funkčních celků na zdvojenou síť (sít' A a sít' B), přičemž každá síť se skládá z 8 přepínačů, které fyzicky propojují jednotlivé koncové systémy mezi sebou (viz obr. 5.12).

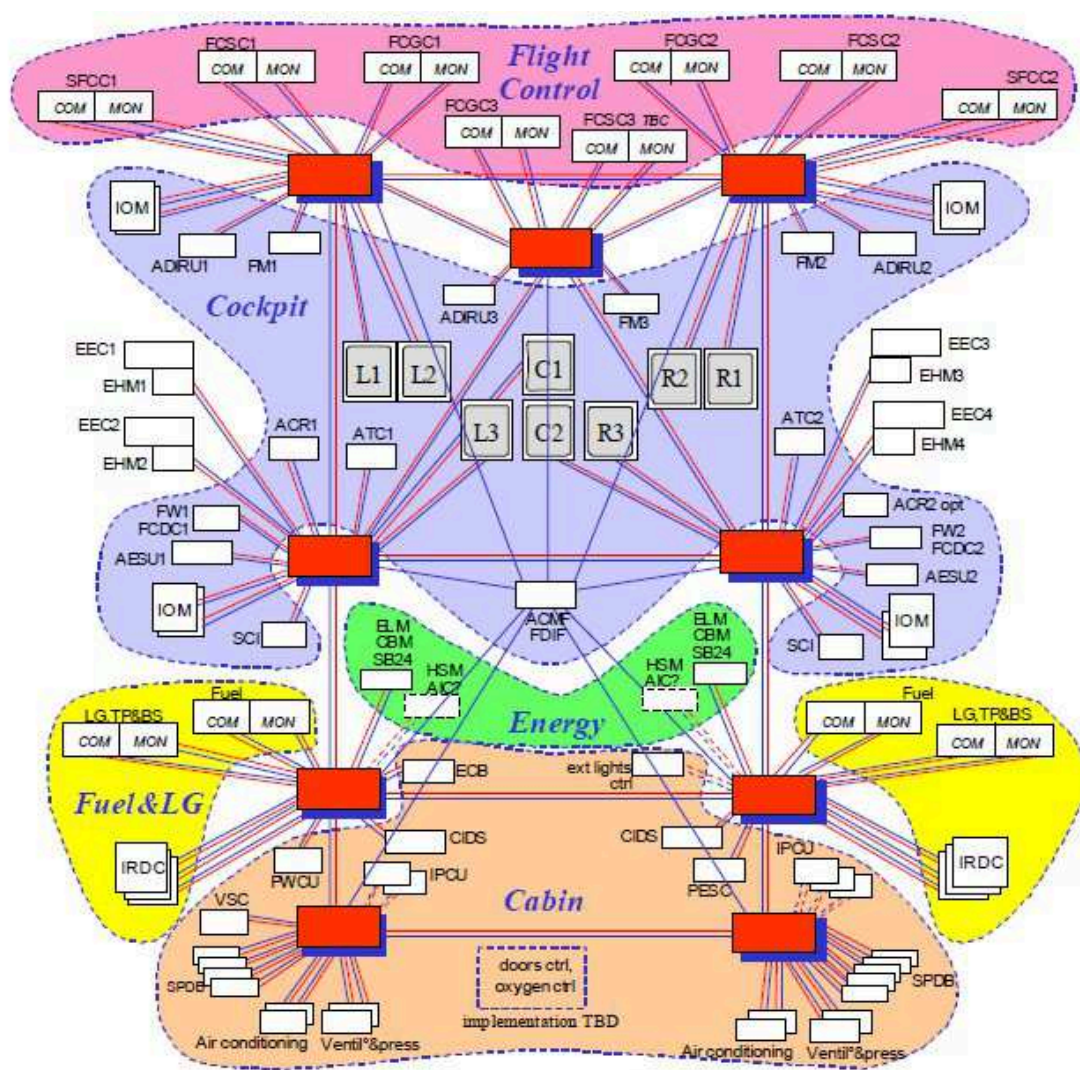


Obr. 5.12: Funkční celky zapojené na ADCN [8]

Koncové systémy buďto přistupují přes *CPIOM*, nebo jsou uzpůsobeny tak, že jsou vybaveny kompatibilním rozhraním pro přístup k síti (*AFDX interface*). Rozdělení všech funkčních skupin letadla je následující a je podrobně uvedeno (viz obr. 5.13):

- Podvozek – *Landing gear functional area*
- Palivo – *Fuel functional area*
- Pneumatický systém a kabina – *Pneumatic and cabin functional area*
- Energie – *Energy functional area*
- Řízení a autopilot – *Flight controls and autoflight functional area*

- Kokpit – *Cockpit functional area*
- Pohonná jednotka – *Engines control functional area*



Obr. 5.13: Podrobnější struktura IMA na letounu Airbus A 380 [8]

Na obrázku 5.13 je podrobné schéma propojení přepínačů (červené obdélníčky – síť A, modré obdélníčky – síť B) s koncovými systémy, které jsou navíc seřazeny do jednotlivých funkčních celků. Toto schéma se vztahuje konkrétně na letoun Airbus A 380. [8]

6 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce shrnuje a popisuje problematiku Integrované Modulové Avioniky (ATA 42). Snažím se zde informovat čtenáře o základních principech zapojení avionických systémů. Popisuji zde vývoj a rozdíly jednotlivých architektur od federované až po modulovou avioniku.

Při tvorbě této práce jsem se seznámil s novými technologiemi používanými při výrobě moderních letadel. Píšu „novými“ i když jsou systémy a struktury na světě již několik let. Musíme si uvědomit, že informace o vývoji nových systémů a struktur nejsou běžně dostupné, jelikož se jedná o „know how“ jednotlivých společností. Některé technologie uvedené v práci jsou třeba již sepsány a publikovány na internetu, ovšem za poplatek. Při práci jsem tedy čerpal převážně z dostupných nezaplatných prezentačních materiálů společností podílejících se na vývoji IMA. Ty však shrnují převážně důvody vzniku IMA, přínosy architektury pro letecký průmysl a případně její základní charakteristiky pouze v obecné rovině. Většina materiálů je psána v angličtině, přičemž je často poměrně složité a někdy i krkolomné a nepřesné doslovně překládat originální názvy do češtiny.

Při kompletaci práce jsem zjistil kolizi se zadáním, které je postaveno hlavně na popisování systémů zapojených do struktury. Uvědomil jsem si, že je nezbytné prvně popsat, jak funguje struktura, a jak se odlišuje od předešlých verzí. Přičemž samotné systémy a popis jejich integrace v struktuře hodnotím jako méně podstatnou část a zmiňuji se o nich pouze okrajově. Samotné zapojení systémů do IMA struktury je pak téměř nedohledatelné, jelikož je obsaženo v manuálech pro údržbu letadel jako A 380, A 350, a dalších, které však nejsou veřejně dostupné.

IMA je každopádně velmi zajímavá problematika, která řeší problém přibývajících datových přenosů a podporuje nové typy propojení a komunikace mezi systémy minimálně na několik let dopředu.

Doufám, že moje práce poslouží jako dobrý studijní materiál pro výuku studentům oboru *Technologie letecké dopravy*, a rozšíří tak jejich odborné znalosti v oblasti leteckého provozu.

7 OTÁZKY

1. Jak se nazývá norma upravující standardy pro letecký průmysl:

ATA 1000

ATA 100

ATA 1

2. Jaké číselné označení ATA nese Integrovaná Modulová Avionika:

ATA 44

ATA 72

ATA 42

3. Vyberte správné tvrzení o významu slova *avionika*:

Veškeré elektronické vybavení na letadle.

Veškeré elektronické komunikační vybavení na palubě letadla.

Veškeré elektronické navigační systémy na letadle.

4. Co charakterizuje tzv. Mooerův zákon:

Každých 18 měsíců dojde ke zdvojnásobení výkonu elektronických obvodů.

Každých 36 měsíců dojde ke zdvojnásobení výkonu elektronických obvodů.

Určuje spolehlivost zapojení mezi avionickými systémy.

5. Jaký byl vývoj ve struktuře zapojení avionických systémů:

Od federované směrem k modulové struktuře.

Od modulové struktury směrem k federované.

Struktura zapojení je beze změny, dochází pouze k vývoji a zlepšování komponent

6. Definujte pojem *federovaná architektura*:

Taková struktura, kde jsou jednotlivé systémy zapojeny jako samostatně pracující jednotky. Mají své sensory, řídicí a výpočetní jednotky a výkonné členy.

Taková struktura, kde jsou jednotlivé systémy zapojeny do bloků, kde společně sdílejí data, a pracují mezi sebou na síti, při sdílené výpočetní jednotce.

Taková struktura, která je definována standardem ARINC 664.

7. Co znamená tzv. *Full duplex*:

Informace mohou být zároveň vysílány i přijímány.

Informace mohou být pouze přijímány.

Informace mohou být přijímány i vysílány, nikoliv však ve stejném časovém okamžiku.

8. Mezi jaký typ provozu zařadíme *poloduplexní přenos*:

Obousměrný

Jednosměrný

Všesměrný

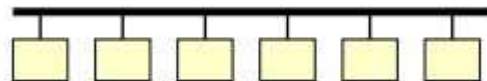
9. Co je to *multiplexování*:

Technologie umožňující přenos více datových toků přes jedno přenosové médium.

Technologie umožňující datový přenos po sběrnici až 2 Gb/s.

Technologie zvyšující přesnost přenosu dat přes sběrnici.

10. Jaká topologie je znázorněná na obrázku:



Sběrníková

Kruh

Hvězda

11. Jak je charakterizována komunikace typu *broadcast*:

Informace je vysílána z vysílače do všech připojených přijímačů.

Informace je vysílána z vysílače do jednoho z přijímačů.

Informace je vysílána z vysílače do omezené skupiny přijímačů.

12. Vyberte správné tvrzení pro standard IEEE 802.3:

Definuje pravidla pro konfiguraci ethernetové sítě a také specifikuje, jak budou jednotlivé členy v síti komunikovat mezi sebou.

Definuje pravidla pro konfiguraci architektury zapojených systémů a také specifikuje, jak budou jednotlivé členy komunikovat mezi sebou.

Jedná se o neformální označení pro standard AFDX.

13. Jaký je typický představitel federované architektury:

ARINC 429

ARINC 629

MIL-STD-11553

14. Jaká je hlavní přednost standardu ARINC 629 oproti ARINC 429:

ARINC 629 podporuje broadcast.

ARINC 629 podporuje unicast.

ARINC 629 pracuje na principu vytváření virtuálních spojů.

15. Jaká je zásadní změna ve standardu ARINC 664 oproti předcházejícím standardům:

ARINC 664 se chová jako strukturovaná síť s jednotlivými připojenými koncovými prvky, kdy data jsou sdíleny napříč sítí.

ARINC 664 potřebuje propojit všechny jednotlivé systémy mezi sebou pro zajištění správné komunikace.

ARINC 664 obsahuje slepou větev ve vývoji avionických standardů, a momentálně je používán jen na pár letounech, ale pouze se záložním systémem ARINC 429.

16. Z čeho se skládá AFDX:

Z koncových systémů a přepínačů, které jsou připojeny na síť.

Pouze z koncových systémů, které vytvářejí logická komunikační spojení.

Z přepínačů připojených k síti.

17. Co je to virtuální spojení:

Pro jedno fyzické propojení, je možno realizovat různé přenosové cesty od vysílače k přijímači.

Kontrolní spojení mezi vysílačem a přijímačem zajišťující zpětnou vazbu o převzetí poslaného signálu.

Všechny koncové systémy zapojené na síti ADCN.

18. Co je to sběrnice:

Skupina vodičů sloužící pro přenos dat z jedné části počítače do druhé.

Skupina vodičů sloužící pro přenos analogového signálu z jednoho počítače do druhého

Skupina vodičů sloužící pro zpětnovazebnou komunikaci.

19. Definujte pojem platforma:

Zařízení, které neplní žádnou avionickou funkci, ale pouze zajišťuje komunikaci, výpočetní a paměťové zázemí avionickým aplikacím.

Obecný název pro zařízení vykonávající avionickou funkci.

Zařízení, které neplní žádnou avionickou funkci, ale jedná se pouze o kontrolní prvek pro bezpečný přenos informace mezi vysílačem a přijímačem.

20. Co je to LRU:

Řadová výměnná jednotka.

Řadový výměnný modul.

Řadový výměnný celek.

21. Jaký je trend ve formování *řadových výměnných modulů (LRM)*:

Klesající, přestupuje se k jednotlivým *řadovým výměnným jednotkám (LRU)*.

Rostoucí, přestupuje se na něj od jednotlivých *řadových výměnných jednotek (LRU)*.

Dochází k formování jak LRU tak LRM, a to přibližně ve stejném poměru.

22. Co je to CPIOM:

Tvoří rozhraní mezi AFDX a non-AFDX standardem, navíc provádí výpočtové operace s daty.

Tvoří rozhraní mezi AFDX a non-AFDX standardem ale neprovádí žádné výpočtové operace s daty.

Jedná se o výpočtový modul vytvořený jako záloha pro AFDX standard.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VOJTEK, T. Avionika současných dopravních letadel: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2010, 76 s. Vedoucí práce: Martinec, F. [cit. 2014-02-10].
- [2] VOLNER, R. Digitální technologie – elektronické přístrojové systémy, VŠB TU Ostrava, 2007, Ostrava, ISBN 978 – 80 – 248 – 1640 – 1.[cit. 2014-02-10].
- [3] EVELEENS, R. Open Systems Integrated Modular Avionics – The Real Thing – . [online]. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/EN/RTO-EN-SCI-176/EN-SCI-176-02.pdf>
- [4] BUTZ, H. Open Integrated Modular Avionic (IMA): State of the Art and future Development Road Map at Airbus Deutschland. [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.aviation-conferences.com/architecture/pdf/ima-henning-butz.pdf>
- [5] SYSGO AG. Safety-Critical Ethernet/AFDX Concept, Design, Implementation and Beyond. [online]. 2012, [cit. 2014-03-14]. Dostupné z: <http://www.sysgo.com/>
- [6] HONEYWELL. [online]. 24.3.2014 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://honeywell.com/About/Pages/our-company.aspx>
- [7] POHLE, T. Achieving clean economic growth. [online]. 2010 [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: http://www.aeronautics.nasa.gov/pdf/3_pohle_green_aviation_summit.pdf
- [8] 2SHARED. LEVEL I - ATA 42 Integrated Modular Avionics.pdf download [online]. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: http://www.2shared.com/document/g7Aee2LG/LEVEL_I_-_ATA_42_Integrated_Mo.html

- [9] SCHÜTZE, A. AIRBUS. *ATA iSpec 2200 Overview* [online]. 2004, 35 s. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.spec2000.com>
- [10] History. Airlines for America (A4A) [online]. 1995 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.airlines.org/Pages/History.aspx>
- [11] KOEPFLE, K. Pentagram. [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://new.pentagram.com/2012/03/new-work-airlines-for-america/2-a4a-logo-compare/>
- [12] DÖRENBERG, F. Integrated and Modular Systems for Commercial Aviation. [online]. 1997 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/en/document/view/3781918/integrated-and-modular-systems-for-commercial-nonstop-systems>
- [13] FUCHS, Ch. The Evolution of Avionics Networks From ARINC 429 to AFDX [online]. 2012 [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: http://www.net.in.tum.de/fileadmin/TUM/NET/NET-2012-08-1/NET-2012-08-1_09.pdf. Faculty of Informatics, Technical University of Munich
- [14] CONMY, P a MCDERMID, J. High level failure analysis for Integrated Modular Avionics. [online]. [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <ftp://www.cs.york.ac.uk/pub/hise/High%20level%20failure%20analysis%20for%20Integrated%20Modular%20Avionics.pdf>
- [15] TECHSAT GMBH, Poing. AFDX® / ARINC 664 Tutorial [online]. 29/08/2008 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: http://www.techsat.com/fileadmin/media/pdf/infokiosk/TechSAT_TUT-AFDX-EN.pdf
- [16] Lantronix, Inc. Networking Tutorials [online]. 2014 [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: <http://www.lantronix.com/resources/networking.html>
- [17] NOVOTNÝ, V. *Úvod do počítačových sítí*. Kuřim: Střední odborná škola Kuřim, 2010 [cit. 2014-04-03].

- [18] DRAXLER, K, J. ROHÁČ a V. FÁBERA. Digitální technologie/elektronické přístrojové systémy: studijní modul 5. CERM, 2003, viii, 183 s. ISBN 80-720-4311-0. [cit. 2014-04-09].
- [19] ROUPEC, J. *Počítačové sítě* [online]. Brno, 2002 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: http://drogo.fme.vutbr.cz/~jroupec/nsite/p_site.pdf
- [20] ISIK, Y. ARINC 629 Data Bus Standard on Aircrafts. *CSECS '10 Proceedings of the 9th WSEAS international conference on Circuits, systems, electronics, control & signal processing* [online]. 2010 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2010/Vouliagmeni/CSECS/CSECS-34.pdf>
- [21] CONDOR ENGINEERING. ARINC Protocol Tutorial. [online]. 2000 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://leonardodaga.insyde.it/Corsi/AD/Documenti/ARINCTutorial.pdf>
- [22] SIMSON, M. ARINC expands connectivity for Air Astana. [Http://www.pax-intl.com/](http://www.pax-intl.com/) [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: http://www.pax-intl.com/industry-news/terminal-news/2013/02/05/arinc-expands-connectivity-for-air-astana/#.U1Kv_PmSxpE
- [23] FAIRHURST, G. Unicast, Broadcast and Multicast. [online]. 2009 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://www.erg.abdn.ac.uk/~gorry/course/intro-pages/uni-b-mcast.html>